

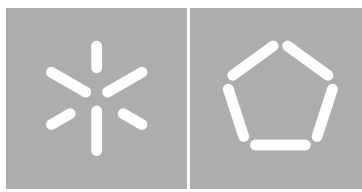
Universidade do Minho

Escola de Engenharia

André Pimenta Ribeiro

**Análise e Monitorização
de Fadiga Mental**

Junho de 2013



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

André Pimenta Ribeiro

**Análise e Monitorização
de Fadiga Mental**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Informática

Trabalho realizado sob orientação de

Paulo Novais

Junho de 2013

Agradecimentos

Quero agradecer a todos os meus amigos e familiares, que indiretamente contribuíram para a realização desta dissertação. Em especial:

Ao professor e orientador Paulo Novais pela disponibilidade com que acompanhou todo o trabalho, pelos conselhos e sugestões dadas, e sobre tudo força e incentivo que transmitiu.

Aos meu colegas de casa Miguel Gomes e João Brandão pelo companheirismo e apoio que me deram ao longo de toda a dissertação.

Aos colegas de trabalho do ISLab, Davide Carneiro, Fábio Catalão, Ângelo Costa, Fábio Silva e Tiago Oliveira pelo apoio através das suas ideias, discussões e experiência.

A todos os colegas que fui conhecendo ao longo do percurso na Universidade do Minho, em especial aos que iniciaram comigo o seu percurso académico. Assim como a todos os colegas do CeSIUM.

Por fim um agradecimento especial aos meus pais Ana Pimenta e Amílcar Ribeiro pela dedicação, apoio e incentivo que sempre me deram, assim como o meu irmão Jaime Ribeiro que sempre me ajudou e apoio nas decisões.

Este trabalho foi desenvolvido no contexto do projeto CAMCoF - Context-aware Multimodal Communication Framework financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade - COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto FCOMP-01-0124-FEDER-028980.



Resumo

No dia-a-dia, muitas vezes temos a sensação de estar cansados após algum exercício físico ou mental, assim como presenciamos uma perda de desempenho ao realizar simples tarefas. No entanto, estes estados mentais não estão muitas vezes presentes na consciência da própria pessoa ou acabam por ser ignorados, uma atitude que pode resultar em falha humana, em erros, originar problemas de saúde, ou uma diminuição na qualidade de vida. Estes estados de fadiga apesar de subjetivos podem ser detetados e monitorizados através de alguns indicadores como a produtividade, performance ou através do estado de saúde. Neste trabalho é proposto um modelo e prototipo para a deteção de fadiga mental baseado em alguns indicadores. Com foco na fadiga mental e na performance individual pretende-se desenvolver ambientes de trabalho e lazer adaptados ao contexto em que se encontram inseridos, promovendo uma melhoria na qualidade e desempenho do ser humano.

Palavras-chave: Monitorização, Fadiga Mental, Deteção de Fadiga, Inteligência Ambiente, Biométricas Comportamentais

Abstract

During our day to day experiences, we often experience a sense of tiredness due to mental or physical work. Along with that, there is also a feeling of performance degradation even after the completion of simple tasks. These mental states however, are often not felt consciously or are ignored. This is an attitude that may result in human error, failure, and may lead to potential health problems along with a decrease in quality of life. States of fatigue may be detected with the close monitoring of certain indicators, such as productivity, performance and the states of health. Within this work, a model and prototype are proposed to detect and monitor fatigue, based on some of these items. Using this approach, it is intended to develop leisure and work context-aware environments that may improve quality of life and individual performance of a human being.

Key Words: Monitoring, Mental Fatigue, Fatigue Detection, Ambient Intelligence, Behavioral Biometric

Conteúdo

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Abreviaturas	xv

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Âmbito da Dissertação	2
1.3	Fadiga	3
1.4	Inteligência Ambiente	4
1.4.1	Principais Desafios	5
1.4.2	Projeto ISLab	6
1.5	Tema e Objetivos	6
1.6	Metodologia de Investigação	8
1.7	Estrutura do Documento	8
2	Fadiga	11
2.1	Conceito de Fadiga	11
2.1.1	Fadiga Total	12
2.1.1.1	Fadiga Física	13
2.1.1.2	Fadiga Mental	13
2.1.2	Níveis de Fadiga	13
2.1.2.1	Fadiga Aguda	14
2.1.2.2	Fadiga Crónica	14
2.1.3	Doenças do <i>Forum</i> Mental	14
2.2	Sistemas de Detecção de Fadiga	15
2.3	Conclusão	18
3	Inteligência Ambiente	21
3.1	Contextualização	21
3.1.1	Ambient Assisted Living	24
3.1.2	Contextos de e-Learning	24
3.2	AmI aplicada à Detecção de Fadiga	26

3.3	Projetos de investigação sobre monitorização de fadiga	26
3.4	Conclusão	27
4	Deteção de Fadiga Mental	29
4.1	Fatores de Fadiga Mental	29
4.1.1	Performance Mental	30
4.1.2	Perfil do Indivíduo	31
4.1.3	Outros Fatores	32
4.1.3.1	Sonolência	32
4.1.3.2	Estado de Humor	33
4.1.3.3	Stresse	33
4.1.4	Modelo de Domínio da Fadiga	33
4.2	Modelo Dinâmico de Deteção de Fadiga Mental	34
4.2.1	Biométricas Comportamentais	36
4.2.2	Recolha de Informação e Análise do Ambiente	37
4.2.3	Módulo de Captura de Informação	41
4.3	Conclusão	43
5	Caso de Estudo	45
5.1	Metodologia	45
5.2	Recolha de Dados	47
5.3	Processamento de Dados	48
5.4	Pré-análise de Dados	50
5.5	Análise Estatística de Dados	50
5.5.1	Tempo entre teclas	54
5.5.2	Tempo de pressão de uma tecla	55
5.5.3	Aceleração	56
5.5.4	Velocidade	57
5.5.5	Erros por tecla	58
5.6	Resultados Obtidos	59
5.7	Conclusão	60
6	Sistema de Monitorização	63
6.1	Framework de Monitorização de Fadiga Mental	64
6.1.1	Modelo Conceptual	65
6.1.1.1	Cliente	65
6.1.1.2	Servidor	67
6.1.2	Arquitetura	68
6.2	Processamento de Informação	70
6.3	Processo de Classificação	71
6.4	Interface do Utilizador	75
6.5	Informação Armazenada	76
6.6	Conclusão	77
7	Conclusão e Trabalho Futuro	79

7.1	Síntese do Trabalho Realizado	80
7.2	Trabalho Relevante	81
7.3	Trabalho Futuro	82
 Bibliografia		 83
 Visão Geral do Sistema		 91
 Anexo A		 91

Lista de Figuras

1.1	Áreas científicas por de trás da Inteligência Ambiente.	5
3.1	Utilizador num contexto de Inteligência Ambiente.	22
3.2	Monitorização em AAL.	24
3.3	Componentes de um sistema de e-Learning.	25
4.1	Modelo de domínio representativo da fadiga. Neste estão presentes as entidades principais ligadas à fadiga, e pelas quais deverá ser feito o estudo em causa.	34
4.2	Visão geral do sistema dinâmico de deteção de fadiga mental num ambiente inteligente.	35
4.3	Módulo de captura de inputs do utilizador aquando da utilização do rato e teclado. Na interface gráfica apresentada é possível ver alguns eventos registados.	42
5.1	Nível de atenção durante trabalho realizado durante 8 horas seguidas. Imagem retirada de [45].	47
5.2	Nível de fadiga com o acumular de tempo de trabalho. Imagem retirada de [45].	48
5.3	Visualização dos dados recolhidos de um utilizador. A imagem da esquerda mostra os movimentos efetuados pelo rato, as áreas onde foram efetuados clicks. As duas imagens à direita representam os dados relativos ao uso do teclado: a imagem no top é referente ao uso das diferentes teclas, e a inferior relativa as terras onde houve mais erros de digitação	49

5.4	Histograma e blox plot comparando os dados das duas distribuições para o tempo entre teclas para um voluntário da experiência.	55
5.5	Histograma e blox plot comparando os dados das duas distribuições para o tempo de pressão de teclas para um voluntário da experiência.	56
5.6	Histograma e blox plot comparando os dados das duas distribuições para a aceleração do rato de um voluntário da experiência.	57
5.7	Histograma e blox plot comparando os dados das duas distribuições para a velocidade do rato de um voluntário da experiência.	58
5.8	Histograma e blox plot comparando os dados das duas distribuições para o número de erros por tecla de um voluntário da experiência.	59
6.1	Diagrama de sequência do sistema. No diagrama é possível ver o fluxo de informação e atividades necessárias para a realização da monitorização.	64
6.2	Modelo conceptual do sistema de monitorização baseado no modelo computacional Cliente-Servidor	66
6.3	Arquitetura do sistema de monitorização	69
6.4	Exemplo de funcionamento do algoritmo KNN por voto da maioria. Neste caso o objeto a classificar representado por uma cruz irá consultar os 5 vizinhos mais próximos (K=5).	72
6.5	Sistema de monitorização utilizando diferentes modelos. Na figura da esquerda o sistema de monitorização utiliza o modelo geral. Na figura da direita é usado o modelo individual.	74
6.6	Avatares correspondentes aos diferentes estados de fadiga atribuídos.	75
6.7	Interface gráfica do sistema de monitorização. É possível ver no primeiro gráfico a classificação atual do estado de fadiga e no segundo gráfico o nível de fadiga.	76
6.8	Modelo conceptual da base de dados.	77
1	Representação gráfica do prototipo desenvolvido.	91

Lista de Tabelas

4.1	Exemplos de algumas biométricas de possível utilização para a detecção de fadiga mental	36
5.1	Resumo do tamanho dos <i>dataset</i> final após remoção de <i>outliers</i> para as diferentes métricas, tanto na primeira fase, ou fase normal, e da segunda fase, ou fase de fadiga.	51
5.2	Resultado da análise estatística da média e mediana dos dados dos 20 participantes.	53
5.3	Resultado da análise estatística do teste Mann-Whitney para 20 participantes	54
5.4	Valores médios resultantes dos 20 voluntários para o tempo de pressão de teclas	54
5.5	Valores médios resultantes dos 20 voluntários para o tempo entre teclas	55
5.6	Valores médios resultantes dos 20 voluntários para a aceleração do rato	57
5.7	Valores médios resultantes dos 20 voluntários para a velocidade do rato	58
5.8	Valores médios resultantes dos 20 voluntários o número de erros por tecla	59
6.1	Resultado da análise estatística do tamanho dos <i>dataset</i> recolhidos com o uso do rato.	71

6.2	Resultado da análise estatística do tamanho dos <i>dataset</i> recolhidos com o uso do teclado.	71
6.3	Resultados da análise aos modelos feita pelo WEKA.	73
6.4	Matriz de confusão dos modelos de classificação.	73

Abreviaturas

AAL	Ambient Assisted Living
AmI	Inteligência Ambiente
CAMCoF	Context-aware MultimodalCommunication Framework
EEG	Eletroencefalografia
IA	Inteligência Artificial
IST	Information Society Technology
ISTAG	IST Advisory Group
JDBC	Java Database Connectivity
KNN	k-vizinhos mais próximos
MAE	Mean Absolute Error
PERCELOS	Percentage of Eye Closure
RMSE	Root Mean Squared Error
ROC	Receiver Operating Characteristic
SSL	Secure Sockets Layers
WEKA	Waikato Environment for Knowledge Analysis

Capítulo 1

Introdução

A fadiga é considerada uma das principais causas para a falha humana, assim como causa de diminuição de rendimento. A fadiga é muitas vezes ignorada por não se considerar que é um fator fundamental hoje em dia para o nosso desempenho e bem-estar [3, 16]. Um bom exemplo da importância da monitorização da fadiga é o caso crítico da condução de viaturas, pois pode revelar-se em caso extremo, fundamental para a vida humana. A solução para tentar diminuir as falhas humanas, e para provocar um aumento do controlo sobre o rendimento pode passar pela utilização da tecnologia, pelo uso de sistemas de deteção e monitorização de fadiga, como já é feito no caso da condução em veículos.

1.1 Motivação

A fadiga mental é considerada um dos grandes problemas da atualidade, afetando o rendimento de uma pessoa no seu dia a dia, especialmente no trabalho, provocando a falha e por consequente o erro[21, 29]. Com uma marcada tendência para aumentar o número de casos de fadiga provocados pelo estilo de vida atual, torna-se consensual que é necessário aumentar os cuidados e redobrar a atenção sobre este assunto [39]. De facto, facilmente se pode ter problemas de saúde devido ao

desgaste mental, que indiretamente pode ser provocado pelo estilo de vida, pelo contexto, ou mesmo por circunstâncias que não controlamos.

Este trabalho é motivado pela possibilidade de se monitorizar as atividades das pessoas, particularmente as atividades intelectuais. A visão de futuro é a de uma entidade que está sempre a olhar por nós, que é capaz de nos avisar da possibilidade de estarmos a proceder mal, ou que, em caso de alerta, é capaz de identificar as causas de tal eventual fadiga. Estas ideias são sustentadas pelo potencial uso de técnicas associadas à Inteligência Artificial (IA) para a construção de um **sistema de monitorização de fadiga**, mais concretamente no âmbito da **fadiga mental** [10].

Posto isto, seria interessante considerar a existência de um sistema de monitorização de fadiga mental, capaz de identificar possíveis fatores e sintomas de desgaste psicológico/mental numa pessoa. Um sistema que através da análise de desempenho de um conjunto de atividades que esta vai realizando, detete diferentes padrões de comportamento nessas atividades e os classifique [1, 41]. Isto terá sempre que ser feito tendo em conta os principais fatores e indicadores que podem levar a um estado de fadiga. Uma ferramenta deste género contribuiria não só para um melhoramento da qualidade de vida, mas também para prevenir e gerir várias doenças do *forum* mental (e.g. depressão, síndrome de *bornout*, dislexia) ou mesmo evitar acidentes.

1.2 Âmbito da Dissertação

A fadiga pode ser vista como um fator que afeta fortemente a produtividade de qualquer trabalhador, e sobre tudo o bem estar sem sintomas prévios. Muitas vezes ficamos até submetidos a um estado de fadiga sem se dar por isso. A fadiga pode ainda limitar fortemente o quotidiano de qualquer indivíduo, no trabalho provocar limitações que podem levar a uma baixa produtividade ou mesmo erros com graves consequências, uma diminuição de interação social, limitações psicológicas e físicas nas mais simples tarefas que realizamos como andar ou ler um jornal

[31, 52]. Para evitar estes problemas de produtividade, de socialização ou mesmo o desenvolvimento de doença do *forum* mental, uma deteção prévia de um possível estado de fadiga torna-se importante para prevenir os problemas referidos.

Este trabalho propõe a criação de um sistema de monitorização de fadiga mental, apontando o foco no acompanhamento e análise das tarefas cognitivas que um indivíduo vá executando. O sistema de monitorização deverá registar a atividade do utilizador a monitorizar definindo os seus padrões de atividade, assim como definir possíveis estados de fadiga do mesmo, para que possa emitir um alerta, ou dar um feedback ao utilizador sobre o seu estado mental e consequente rendimento.

1.3 Fadiga

A fadiga é um problema recorrente no nosso dia a dia, principalmente no trabalho. A alteração das condições de trabalho em particular o aumento do número de horas de trabalho, assim como a realização de tarefas monótonas levantam o problema da fadiga. A questão da produtividade no trabalho é um dos principais problemas relacionados com a fadiga, no entanto questões como a educação e saúde também são problemas de elevada importância na área da fadiga.

Tem-se abordado e tentado solucionar este problema durante anos procurando uma forma de medir a fadiga e assim a poder gerir de forma a resolver alguns dos problemas aqui apresentados. No entanto a subjetividade que a envolve o conceito de fadiga tem sido um problema, dando origem a numerosas e diferentes investigações. De algumas destas investigações provou-se que apesar da subjetividade da fadiga que é possível definir a mesma como uma perda de desempenho e com o subsequente aumento de erros/falhas, independentemente do contexto e da pessoa [33].

1.4 Inteligência Ambiente

Os computadores têm sido uma ferramenta importante para o ser humano, introduzindo uma capacidade para resolver problemas de forma mais rápida e automatizada, assim como servirem de auxiliares do nosso dia-a-dia. No entanto esta interação com os computadores tem sido quase sempre uma interação acentuada numa procura do computador sempre que precisamos dele, no local onde ele se encontra com os meios que este disponibiliza. Atualmente e com a evolução da tecnologia a forma como se interage com os computadores tem vindo a mudar rapidamente, levando ao que hoje é conhecido por Inteligência Ambiente¹ (AmI).

Inteligência Ambiente é um campo relativamente recente de aplicação de Inteligência Artificial, pode ser visto como um ramo da ciência da computação que se concentra na automatização de comportamentos inteligentes. Na Inteligência Ambiente os computadores são vistos como ferramentas pro-ativas que se adaptam autonomamente para nos assistir nas tarefas do dia-a-dia, auxiliando e facilitando a nossa vida [9]. A Inteligência Ambiente foi definida pelo IST Advisory Group (ISTAG) como um novo paradigma computacional possível graças à integração de três tecnologias: Computação Ubíqua, Comunicação Ubíqua e Interfaces Inteligentes e está a mudar a forma como vemos os computadores [22]. Assim os computadores começarão a trabalhar para nós em vez de sermos nós a trabalhar com eles (Figura 1.1).

No paradigma da Inteligência Ambiente não é necessária uma interação tradicional com os computadores, passando-se a usar estes de formas não tão habituais por parte dos utilizadores, como por exemplo o uso da nossa linguagem natural ou gestos. A Inteligência Ambiente procura que os computadores sejam invisíveis, o quanto possível, como poder computacional. Desta forma é possível a interação com diferentes computadores sem se notar, esperando-se que o utilizador apenas esteja ciente, e note os resultados da interação como um acréscimo de conforto, segurança e bem estar [14].

---

¹Tradução do termo anglo-saxónico Ambient Intelligence

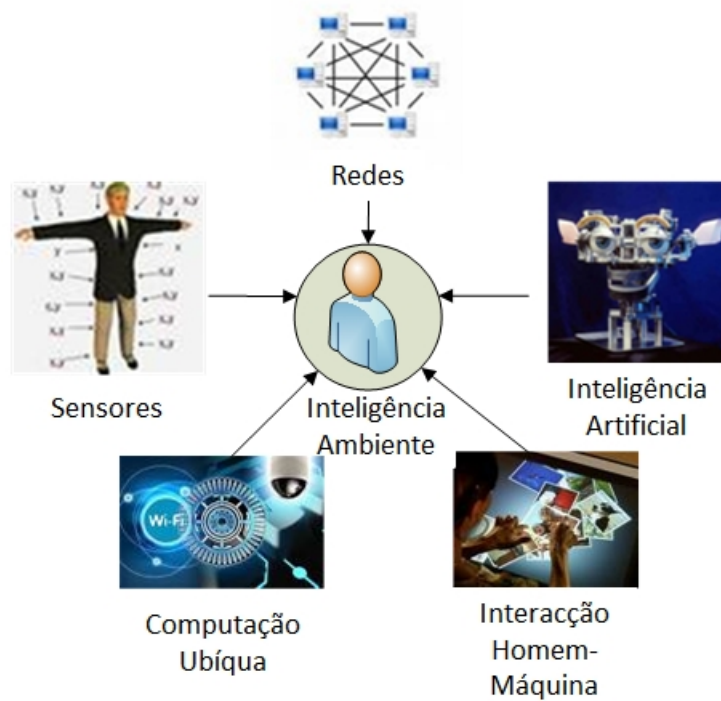


FIGURA 1.1: Áreas científicas por de trás da Inteligência Ambiente.

1.4.1 Principais Desafios

A monitorização de uma pessoa permite uma observação constante sobre a mesma, evitando que esta não se trate apenas quando vai ao médico, ou então, que apenas vá ao médico quando já está num estado grave. O principal desafio na monitorização de fadiga passa pela dificuldade em admitir que se está sobre o efeito desta, o que muitas vezes só leva a pessoa a prejudicar-se, assim como detetar os primeiros sinais de manifestação a tempo.

A criação de um ambiente de trabalho personalizado e melhorado que auxilie na realização as tarefas do dia a dia de forma mais eficiente, por exemplo num ambiente de auxílio médico dando suporte ao paciente e aos responsáveis pelo paciente, assim como num ambiente de casa, ajudando as pessoas no seu dia-a-dia. Estes são alguns dos domínios em que se pretende atuar com este trabalho, através da monitorização de fadiga mental. Porém será necessário ter em atenção que a fadiga é um conceito difícil de quantificar ou controlar. É no entanto possível

monitorizá-la através da deteção e análise de sintomas de manifestação dos diferentes estados possíveis de fadiga. No entanto a fadiga, tal como já referido, é um conceito muito subjetivo mesmo dentro da comunidade científica, onde facilmente se podem encontrar estudos com conclusões divergentes e por vezes contraditórias sobre o mesmo problema. Torna-se então importante definir algumas indicadores objetivos de fadiga, e desenvolver mecanismos de deteção e medida desses indicadores, para que se possa realizar uma monitorização confiável, autónoma e de forma não invasiva.

1.4.2 Projeto ISLab

Esta investigação integra-se no projeto **CAMCoF** (Context-aware Multimodal Communication Framework), que tem como objetivo desenvolver uma estrutura para modelar o contexto do utilizador, com foco no stresse. Tem também como missão recolher e fornecer informações para um ambiente virtual de forma a enriquecer os processos de comunicação que possam ser desenvolvidos, e que possam vir a aprimorar meios de comunicação que permitam aos seus utilizadores se comunicar de maneiras próximas de uma comunicação a cara-a-cara. Um outro objetivo passa por tornar a plataforma não intrusiva, nem invasiva, permitindo assim uma monitorização mais eficaz. A informação relativa ao stresse será baseada na análise do contexto do utilizador assim como dos seus padrões de interação. Estes padrões de utilização serão baseados em sensores de HTC PDAs, onde se espera extrair dados como: a duração de toque, intensidade, precisão, aceleração, quantidade de movimento e performance cognitiva [11, 43]. Com este projeto pretende-se modular novos modelos de deteção de stresse.

1.5 Tema e Objetivos

Pretende-se, com este trabalho, criar um sistema de monitorização de fadiga mental que detete possíveis estados de fadiga mental de uma pessoa. Esta deteção

deverá ser autônoma e independente, eliminando a necessidade da utilização de questionários, muitas vezes utilizados pelos especialistas da área da saúde e da psicologia. Espera-se ainda como sistema de monitorização, uma recolha contínua de informação, nomeadamente dos padrões de utilização de um indivíduo num contexto tecnológico, como por exemplo utilização de um computador ou dispositivo móvel.

A consciência de um mal-estar através do sistema de monitorização será também uma mais valia, pois permitirá que o seu utilizador analise os seus comportamentos menos saudáveis ou que de certa forma estão a prejudica-lo mentalmente ou mesmo fisicamente. O objetivo desta dissertação pode se dividir nos seguintes sub-objetivos:

- Análise do estado da arte dos padrões de comportamento e atividades do ser humano que tenham ligação direta com estados, e potenciais estados de fadiga e doenças do *forum* mental;
- Desenvolvimento de um módulo de captura de padrões de interação com dispositivos tecnológicos (e.g. smartphones, computadores, tablets);
- Realização de uma experiência para recolher dados comportamentais de utilizadores sob fadiga, usando o módulo anterior;
- Aprendizagem de padrões de comportamento baseados nos dados recolhidos na experiência;
- Validação dos padrões de comportamento e dos modelos desenvolvidos num caso de estudo;
- Especificação de um sistema de alerta e recomendação;

1.6 Metodologia de Investigação

Para a realização dos objetivos anteriormente apresentados está se a seguir uma metodologia ação-pesquisa [32]. Esta metodologia passa pela identificação do problema em causa, para que este possa ser formulado e desenvolvido. Durante todo o processo a informação é recolhida, avalizada, e organizada de forma continua, construindo um suporte para a resolução do problema. Por fim a análise e validação dos resultados obtidos durante a investigação devem desencadear conclusões sobre o problema em causa. Para seguir esta metodologia de investigação serão seguidos os seguintes passos:

1. Especificar o problema assim como as suas características.
2. Atualização constante e incremental do estado de arte.
3. Modelação e implementação do sistema.
4. Análise de resultados e formulação de conclusões.
5. Validação do sistema.
6. Publicação do conhecimento, resultados obtidos e experiências realizadas na comunidade científica.

1.7 Estrutura do Documento

Este documento encontra-se organizado da seguinte forma: Capítulo 2 onde se encontra apresentado o conceito de fadiga e problemas relacionadas. Apresentam-se também neste capítulo alguns sistemas de monitorização de fadiga já existentes.

No Capítulo 3 é apresentada e detalhada a área de Inteligência Ambiente, com destaque para as características principais, assim como uma arquitetura de alto nível.

O Capítulo 4 descreve a forma como a fadiga se manifesta e como é possível detetar a mesma. É apresentado um modelo conceptual de deteção, assim como a proposta de um conjunto de métricas para deteção de fadiga.

No Capítulo 5 é descrita a experiência realizada para provar o valor das métricas seleccionadas. A experiência é descrita desde a metodologia utilizada e recolha de informação até à apresentação dos resultados obtidos.

No Capítulo 6 é apresentado o sistema de monitorização desenvolvido. Inicialmente é apresentada a arquitetura e o modelo conceptual utilizados para o seu desenvolvimento. Apresentam-se também as decisões de implementação, assim como o prototipo final desenvolvido.

O documento termina com o Capítulo 7, onde é feita uma síntese do trabalho realizado, assim como as contribuições mais importantes resultantes. O capítulo termina com as conclusões obtidas, assim como o trabalho futuro planeado.

Capítulo 2

Fadiga

A fadiga é um conceito muito subjetivo, porém pode ser apresentado como :"*... uma combinação de sintomas que incluem: baixa performance (perda de atenção, reação lenta, baixo desempenho em tarefas onde se tem capacidades e problemas de sono) e sentimentos subjetivos de sonolência e cansaço ...*"[49].

A fadiga pode então ser definida como uma insuficiência que pode incluir fatores físicos e/ou mental, associadas a uma menor atenção e uma performance reduzida. Sinais de fadiga incluem cansaço mesmo após o sono, distúrbios psicológicos, perda de energia e dificuldade de concentração. É muitas vezes causadora de erros e acidentes, muito porque os funcionários/trabalhadores não estão atentos, e são menos capazes de responder às novas circunstâncias. Além destes problemas imediatos, a fadiga pode levar a problemas de saúde a longo prazo [3, 52].

2.1 Conceito de Fadiga

Existem diversas definições literárias para a palavra e conceito de fadiga, muitas vezes também chamada de exaustão, cansaço ou apatia. Todas descrevem de forma geral um estado de fraqueza física e/ou psicológica, que impede o desenvolvimento natural ou espontâneo de uma atividade do cotidiano [3, 52]. Pretende-se abordar as limitações e alterações de desempenho a que está sujeita uma pessoa, ou

seja, a fadiga será considerada como sendo um conjunto de fatores que limitam e condicionam o desempenho normal próprio de uma pessoa, numa atividade recorrente, a que o mesmo se submete, manifestando-se através de indicadores de fadiga [31, 52].

A fadiga pode ainda dividir-se em duas dimensões, que englobam duas áreas diferentes, a fadiga mental e a fadiga física, que apesar de não poderem ser tratadas de forma independente, bem pelo contrario, enquadram-se em domínios distintos que preservam uma ligação direta entre si [29].

Quando se fala de fadiga é ainda necessário distinguir a fadiga aguda, que também pode ser denominada de cansaço, com a fadiga crónica que é uma doença do *forum* mental e normalmente encontra-se relacionada com um outro conjunto de doenças do mesmo *forum*. Existe ainda uma distinção entre o estado de fadiga mental e o conjunto de problemas associados ao sono, stresse[31, 53] ou estados de humor, que apesar de estarem relacionados, são problemas diferentes e devem ser tratados como tal [2, 49].

2.1.1 Fadiga Total

Muitas vezes associada à palavra comum fadiga, é um estado que compreende pelo menos duas dimensões: fadiga mental e fadiga física. Estas duas dimensões contribuem em simultâneo para a fadiga total, estando sempre ligadas e conectadas entre si, manifestando-se nas diferentes tarefas realizadas por um indivíduo [3].

A fadiga total pode ser vista como o somatório da fadiga física, da fadiga mental, assim como de outros problemas relacionados, tais como: problemas de sono e doenças relacionadas com o sono, com o stresse e as consequências que este provoca, assim como a situação psicologia de uma pessoa. Dos fatores psicológicos destacam-se os diferentes estados de humor que acompanham as pessoas no dia-a-dia e nos seus problemas e desafios.

2.1.1.1 Fadiga Física

Como já referido a fadiga física e a fadiga mental tem uma relação direta de existência, não podendo ser consideradas separadamente, sendo consideradas parte de um todo. A fadiga física é normalmente associada à perda de força muscular, velocidade ou de agilidade, limitando assim o desempenho de tarefas físicas. Pode ser vista também como uma fadiga temporária, que resulta normalmente de um excesso de exercício físico, ou, de uma má preparação física para o desempenho de determinadas tarefas[4, 52].

2.1.1.2 Fadiga Mental

Fadiga mental pode ser vista como o estado que envolve efeitos sobre um conjunto de competências cognitivas, emocionais e motivacionais [34, 49] e que resulta num mau estar global de uma pessoa, assim como o surgimento de um conjunto de limitações. Alguns desses efeitos implicam que uma pessoa fatigada esteja muitas vezes menos disposta a envolver-se em tarefas de esforço, ou realize a tarefa de forma condicionada, bem a baixo da sua capacidade normal [30, 34]. A fadiga mental é responsável pela perda de iniciativa, que se pode encontrar associada a uma falta de energia evidente. A fadiga mental encontra-se também normalmente associada a dificuldades de concentração, atenção, dificuldades de perceção visual, sonolência entre outros problemas [37].

2.1.2 Níveis de Fadiga

A fadiga para além de apresentar diferentes dimensões, apresenta também diferentes níveis temporais. O fator tempo não determina apenas o tempo de duração da fadiga, pode determinar também a sua gravidade, pois quanto mais se prolongar a fadiga, maior a probabilidade de estar evoluir para problemas mais graves, assim como o seu tratamento fica mais dificultado. A fadiga pode então ser dividida em dois níveis, a fadiga aguda, ou fadiga de curta duração, e a fadiga crónica, ou fadiga de longa duração [2].

2.1.2.1 Fadiga Aguda

A fadiga aguda é fadiga mais vulgar que afeta as pessoas no dia-a-dia, também chamada muitas vezes de cansaço. Esta fadiga surge após a realização de esforços por parte de uma pessoa, ou é resultado de uma falta de energia momentânea como resultado de um desconforto físico e/ou psicológico, ou por uma noite mal passada [12]. É tipo de fadiga que normalmente tem duração relativamente rápida e apenas surge como consequência de esforço, que apesar de ser fortemente limitativa não é uma ameaça forte à saúde de uma pessoa, no entanto, pode ser a base e a causa para o desenvolvimento de algumas doenças [49].

2.1.2.2 Fadiga Crónica

A fadiga crónica é o tipo de fadiga persistente e que normalmente não se encontra associada a esforços ou exercício. Encontra-se associada a dificuldades cognitivas, exaustão mental e física crónica, muitas vezes grave, assim como outros sintomas característicos em pessoas previamente saudáveis e ativas [7, 12, 31]. Este é o tipo de fadiga de longo tempo, que necessita de tratamento especializado, podendo até ser considerada uma doença rara, síndrome de fadiga crónica. Uma pessoa quando se encontra sobre um estado de fadiga crónica vê a sua vida fortemente limitada, assim como a sua saúde, felicidade e produtividade. A sua recuperação também é bastante difícil, sendo que a recuperação completa da condição ocorre em apenas 5-10% dos casos [25, 46].

2.1.3 Doenças do *Forum* Mental

Existem um conjunto de doenças do *forum* mental que se encontram ligadas diretamente à fadiga, e em especial à fadiga mental. Estas doenças tanto se encontram associadas, como se apresentam como consequência de um estado de fadiga mental, podendo algumas vezes até ser confundidas, pelo que se deve ter uma atenção

especial [18, 33]. Depressão, síndrome de *Burnout*, dislexia, síndrome fadiga crónica são alguns dos exemplos de doenças que se encontram ligas à fadiga mental [51].

2.2 Sistemas de Detecção de Fadiga

Nesta secção será apresentado um conjunto de diferentes sistemas de detecção de fadiga e de monitorização já disponíveis para a utilização por parte de pessoas comuns, assim como de empresas. A maior parte dos sistemas disponíveis, e que, se apresentam de seguida são utilizados na monitorização dos condutores de viaturas, sendo a maior parte desta monitorização efetuada através *Eye tracking*.

—**OSPAT** (Occupational Safety Performance Assessment Technology) Avalia a coordenação olho-mão através da utilização de um rato e ecrã num computador, utilizando uns pequenos testes de precisão e concentração. Pretende com os resultados dos testes de cordeação olho-mão avaliar a fadiga do utilizador. Este sistema não faz a distinção entre um estado de fadiga ou um estado de alcoolemia ou de efeito de drogas.

<http://www.ospat.com/>

—**SmartCap** É uma aplicação que pretende registar a atividade cerebral do seu utilizador através de um dispositivo instalado num chapéu, que se destina a recolher informação relativa a uma eletroencefalografia (**EEG**), e enviando-a para uma central onde são processados os dados recolhidos pelo capacete. Em caso de fadiga eminente ou mesmo sonolência do utilizador, esta emite sinais visuais e sonoros de aviso.

<http://www.smartcap.com.au>

—**Pro-Active Fatigue Management System** Sistema que utiliza um dispositivo para medir a atenção e sonolência do utilizador através de estímulos visuais e sonoros. Baseia-se nos tempos de resposta e reação aos estímulos provocados, medido assim a condição mental do utilizador. Caso detete um possível estado

de fadiga emite sons de alerta, e em caso de fadiga envia um alerta a um supervisor. Efetua testes constantes e caso os tempos de resposta sejam cada vez mais lentos emitem sinais com maior frequência para determinar se está perante uma situação de fadiga eminente.

<http://www.arrb.com.au>

- ASTiD™** Detecção de fadiga com base na entrada do histórico de sono de um condutor, e qualidade do sono combinado com o rastreamento de movimentos do volante. O sistema utiliza um modelo de fadiga e sonolência para prever os níveis de fadiga com base no tempo do dia. Este sistema requer a introdução de dados relativos ao sono de forma manual por parte do utilizador.

<http://www.pernix.co.uk>

- Driver Fatigue Monitor** Foi o primeiro dispositivo disponível comercialmente para calcular automaticamente **PERCLOS** (Percentage eye closure) percentagem de fecho dos olhos, através do uso de uma câmara. Esta tecnologia revelou-se altamente sensível a movimentos de e cabeça e alterações de luminosidade, o que provocou alguns erros da deteção fadiga com falsos alarmes.

<http://www.driverfatiguemonitor.com>

- Driver State Monitor** O sistema que usa infravermelhos para avaliar a fadiga do condutor e distração visual usando algoritmos de reconhecimento facial. Usa alarmes sonoros e visuais como sinais de aviso, perante um possível estado de fadiga. Apesar de ainda se encontrar em desenvolvimento este sistema já revela melhorias em relação aos anteriores que usam **PERCLOS**, com correções de alteração de iluminação e movimentos da cabeça.

<http://delphi.com/>

- EyeCheck** Dispositivo que avalia a fadiga através do tamanho da pupila, estimulando esta através de pequenos flashes de luz. baseia-se em princípios médicos para o comportamento da pupila. Exige uma formação mínima de utilização e fornece uma análise dos dados recolhidos ao utilizador.

<http://www.eyecheck.com/>

—**FaceLab** Sistema que utiliza câmara de vídeo para monitorização dos movimentos da cabeça e olhos, incluindo os **PERCLOS** como medida de fadiga, sem qualquer interação do utilizador. A fadiga é gerida com base na deteção de sintomas de sonolência. Possui ainda um sistema de alerta ao utilizador.

<http://www.seeingmachines.com/>

—**HaulCheck** Utiliza uma combinação de informação resultante de dois sensores para monitorizar a fadiga dos condutores. O primeiro através da utilização sistema GPS para controlar a posição global do veículo, e uma tecnologia de deteção a laser para o espaço local, controlando assim a posição do veículo a ser conduzido.

<http://www.acumine.com/>

—**Fatigue Warning System** Sistema de deteção de fadiga através de tempos de reação. Utiliza estímulos visuais para medir a fadiga através da recolha dos tempos de reação de duas formas distintas: a) sinais aleatórios, b) estímulos mais frequentes com a possível presença de um possível estado de fadiga.

<http://www.rct.net/>

—**NapZapper** Pequeno dispositivo, usado ao redor da orelha. Ao atingir um determinado ângulo emite um bip. Pretende analisar fadiga através dos movimentos de cabeça.

<http://www.safetyproductsunlimited.com/>

—**NOVA!ert** Sistema de deteção de fadiga através da atividade muscular. Quando a atividade muscular diminui abaixo de uma linha de base definida, o dispositivo provoca um estímulo vibratório no pulso. O utilizador deve responder ao segundo impulso, aumentando aperto da mão sobre monitorização. A vibração é repetida a cada 10 segundos, se o utilizador não responder corretamente.

<http://www.atlas-arl.com>

—**Sleep Control Helmet** Sistema que consiste na utilização de um dispositivo a colocar em capacetes, que pretende detetar fadiga, e emitir sinais visuais e sonoros na presença de fadiga. A fadiga é detetada através dos movimentos de

cabeça. Permite ainda o envio de um sinal provocado pelo próprio utilizador caso este se sinta fatigado.

<http://www.ericar.cl/>

- AntiSleep** Sistema de câmaras vídeo que utiliza um método inovador de iluminação infra-vermelho para acompanhar a posição da cabeça e orientação e características do olho. Detecção de fadiga através dos fatores referidos. Não deve ser considerado um sistema de monitorização *stand-alone*.

<http://www.smarteye.se/>

- Voice Commander** Medição da fadiga através do tempo de reação a estímulos de sons. A frequência e volume do som são programados manualmente. Sistema com servidor central que recebe a informação recolhida.

<http://www.internationalmining.com>

2.3 Conclusão

A fadiga pode ser vista como um conceito subjetivo e complexo, dividindo-se em duas dimensões, a física e mental. A fadiga é ainda dividida em dois níveis temporais, a fadiga aguda, de curta duração e muitas vezes chamada de cansaço, e a fadiga crónica, de longa duração sendo considerada até considerada uma doença. Apesar da subjetividade da fadiga, a sua detecção e monitorização é completamente possível através de alguns indicadores, como o dos tempos de reação, ou os PERCLOS que são atualmente utilizados na detecção e monitorização de fadiga, nomeadamente nos condutores de viaturas. Pode-se também afirmar que devido à natureza do problema, assim como das suas características, a utilização do paradigma AmI é sem dúvida uma opção acertada.

É também um facto que o trabalho realizado na área da detecção e monitorização de fadiga é ainda muito reduzido, sendo a maior parte de projetos e investigações baseadas no processamento de imagens, ou tempos de reação, sendo esta ultima forma não autónoma e invasiva para o utilizador. Pode-se então afirmar que o

que se propõe nesta dissertação é inovador, pois vai permitir uma monitorização de forma autónoma e não invasiva, mas também através de uso de informação ambiente não baseada em processamento de imagens.

Capítulo 3

Inteligência Ambiente

Inteligência Ambiente é o conceito chave desta dissertação e de todo o trabalho realizado por de trás da mesma. Este capítulo começa com uma breve apresentação do conceito de Inteligência Ambiente (**AmI**), passando a uma apresentação dos principais usos e perspectivas futuras.

3.1 Contextualização

Inteligência Ambiente [22, 23] é considerada um novo paradigma das tecnologias de informação que revela um potencial impacto no futuro próximo da tecnologia. O conceito de AmI defende a existência de um mundo, onde uma pessoa se encontra rodeada de objetos inteligentes que consegue ler o contexto onde se encontram inseridos, adaptando-se ao mesmo, e dando resposta às necessidades da pessoa (Figura 3.1) . A Inteligência Ambiente coloca os seus utilizadores no centro de um ambiente digital que sente a presença e contexto em que se movimentam, sendo sensível, adaptável e atenda às suas reais necessidades, hábitos, atitudes e emoções, prestando-lhes serviços úteis. A AmI é vista como uma área multidisciplinar que engloba características de diversas áreas das ciências da computação [9, 35].

Em AmI um computador é então visto como uma ferramenta proativa com capacidade de se adaptar autonomamente às tarefas do dia-a-dia do seu utilizador,



FIGURA 3.1: Utilizador num contexto de Inteligência Ambiente.

tendo como objetivo principal auxiliar os seus utilizadores tornando as suas tarefas facilitadas. No paradigma da Inteligência Ambiental não é necessária uma interação tradicional com os computadores passando-se a poder usa-los de uma forma não tão convencional, fazendo uso, por exemplo, de outros meios como a nossa linguagem verbal ou gestual. [14]. É também uma característica da Inteligência Ambiente a interação homem máquina de uma forma natural através de interfaces “user-friendly”.

Das diferentes componentes de atuação do paradigma de Inteligência Ambiente, apresentam-se as de maior relevo para esta dissertação.

—**Sensorização.** Sendo o paradigma AmI concebido para um mundo real, para ambientes físicos, o uso de sensores torna-se uma premissa fundamental. Os sensores podem ser vistos como uma peça chave para o poder computacional que os dispositivos físicos possam potenciar. A sensorização promove a uma percepção do ambiente através do uso de diferentes sensores. Estes sensores podem recolher dados de posições geográficas, deteção de produtos químicos, deteção de humidade [20], leituras de luz, radiação, temperatura, som, tensão, pressão, posição, velocidade, sensorização de direção, ou mesmo apoiar a vigilância da

saúde, entre outros dados [36, 47]. O conhecimento do ambiente, e do utilizador é extremamente importante para o desempenho do serviço a prestar. O conhecimento das preferências e limitações do utilizador são importantes para a modelação do mesmo, assim como a definição do contexto envolvente. Com este conhecimento pretende-se dar um valor aos dados recolhidos, assim como dar a capacidade de aprendizagem ao sistema.

- Suporte.** Um ambiente de suporte à decisão ajuda o utilizador, quando este é confrontado com uma escolha, podendo mesmo gerar várias hipóteses e cenários dado o contexto em que o utilizador se apresenta. Permite também apresentar vantagens e desvantagens de cada um dos cenários e hipóteses gerados, servindo assim de serviço de suporte à decisão do utilizador, mas também de recomendação.
- Atuação.** A atuação em Inteligência Ambiente normalmente baseia-se em duas causas: reação a um evento ou uma ação para prevenir ou causar um evento. Estas duas causas são provocadas por comportamentos reativos ou pro-ativos, respetivamente. No primeiro caso o sistema deteta previamente e reage preditadamente, já no segundo caso, toma a iniciativa e atua.
- Interação Humano-Computador** Um dos aspetos mais importantes do paradigma AmI está relacionado com a interação do utilizador, ou melhor a procura da redução da interação homem-maquina. Desta forma as interfaces devem ser desenvolvidas para diferentes dispositivos, assim como para diferentes utilizadores tendo sempre em conta o contexto para que são concebidas, assim como o seu objetivo final, procurando facilitar o uso ao utilizador.
- Privacidade e desafios de segurança** Baseando-se fortemente nos dados recolhidos, a segurança e privacidade dos mesmos é uma questão pertinente e critica, um bom exemplo é o “síndrome do Big brother” que pode se revelar um entrave ao utilizador. A utilização de dados encriptados é uma das soluções a utilizar para proteger a privacidade da pessoa, mas outras medidas podem ser tomadas, de forma a garantir a segurança de dados, e eliminar a desconfiança dos utilizadores.

3.1.1 Ambient Assisted Living

Ambient Assisted Living (AAL) pode ser considerado uma subárea do paradigma de Inteligência Ambiente. A sua especificação recai sobre tudo na assistência das pessoas no dia-a-dia, tornando os seus dias mais fáceis, especialmente em assuntos relacionados com a área da saúde. Os ambientes assistidos são normalmente constituídos por tecnologias dotadas de características como a portabilidade, preservação e integração com o ambiente [15]. Isto significa que podem ser usados em qualquer ambiente, enriquecendo-o e disponibilizando-o de forma simples aos seus utilizadores. Estas são vantagens a ter em consideração sobre tudo em pessoas com deficiências ou limitações.

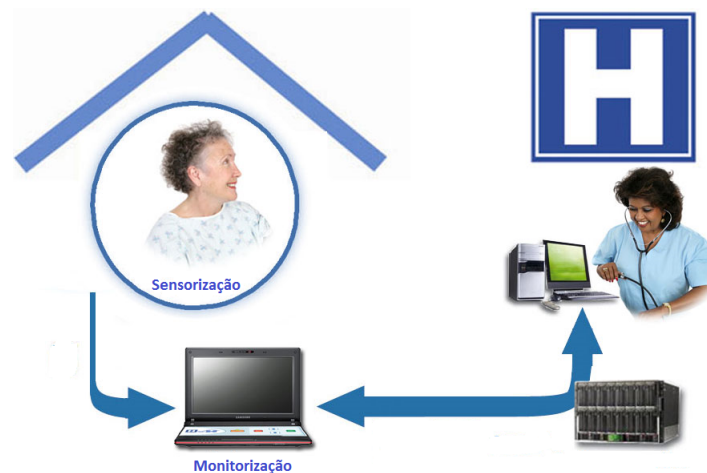


FIGURA 3.2: Monitorização em AAL.

A aplicação de ambientes assistidos com o objetivo de assistir as pessoas pode significar a manutenção da sua autossuficiência e independência [24], aumentando assim o seu bem-estar e a própria confiança. Permite ainda criar um ambiente de conforto e segurança na casa da pessoa (Figura 3.2).

3.1.2 Contextos de e-Learning

O ensino eletrónico, também conhecido como e-Learning corresponde ao ensino feito sem a presença de um professor, ou auxiliar, ou seja não presencial, sendo

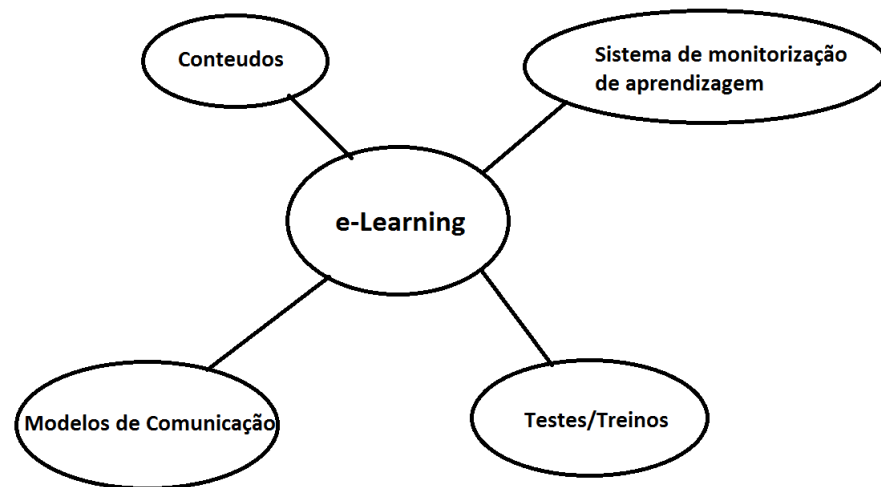


FIGURA 3.3: Componentes de um sistema de e-Learning.

suportado através do uso da tecnologia para monitorizar o ensino, assim como promover uma comunicação e disponibilização de conteúdos à distância (Figura 3.3). E-learning pode também ser definido como o processo no qual um aluno aprende sem a presença física de um professor, recorrendo a conteúdo informático baseado em informação armazenada no seu próprio computador ou através da Internet [13].

O processo de e-Learning pode ser visto como um método de ensino sem necessidade presencial, mas não só, pode também servir como método de acompanhamento de aprendizagem. O acompanhamento de aprendizagem permite um estudo mais personalizado, assim como identificar as necessidades ou pontos fortes de um aluno [27, 41]. Desta forma torna-se possível acompanhar o progresso de um aluno, assim como melhorar o seu estudo, através tanto de matérias específicas como de métodos de aprendizagem. A identificação de problemas de aprendizagem e a causa desses mesmos problemas é mais uma vantagem que pode ser alcançada através de contextos de e-Learning

3.2 AmI aplicada à Detecção de Fadiga

Como já referido AmI fazem parte de uma área muito diversificada e com muitos campos distintos. Sobre este paradigma é possível criar poder computacional a utilizar em ambientes planeados de forma quase invisível para o seu utilizar. Sendo o objetivo principal desta dissertação a deteção e consequente monitorização de fadiga mental. Torna-se consensual o uso de AmI como paradigma para a resolução deste problema, pois a utilização de um sistema tradicional seria o primeiro passo para limitar a monitorização, assim como os resultados desta. É então consensual uma necessidade de invisibilidade do sistema ao utilizador para a produção de resultados não influenciados, ou pelo menos uma interação natural, mas também uma contextualização do ambiente em causa.

Pretende-se assim com o paradigma AmI criar um sistema que ajude o utilizador nas suas atividades cognitivas, ou melhor, que evite este executar essas mesmas atividades de forma condicionada. Procurando-se evitar problemas de rendimento, e/ou mesmo problemas de saúde, ou vindo de outro prisma, ajudar o utilizador a ter um rendimento melhor nas suas atividades.

3.3 Projetos de investigação sobre monitorização de fadiga

Nesta secção serão apresentados alguns projeto de investigação que têm como objetivo a deteção e monitorização de fadiga.

—**Universidade de Nova Orleans** Desenvolvimento de sistema de deteção e monitorização de fadiga através do uso de WebCams. Este sistema utiliza as WebCams para detetar **PERCLOS** como métrica para detetar a fadiga. Sistema com registo de histórico não invasivo ao utilizador [44].

—**Chaoyang University of Technology** Desenvolvimento de plataforma de deteção de fadiga mental e inquietude em e-learning. Esta plataforma pretende

detetar estados de fadiga mental e inquietude recorrendo ao uso do processamento de imagem, utilizando o reconhecimento facial como indicadores de fadiga e inquietude. Este sistema pretende auxiliar o ensino online comparando resultados obtidos e desenvolvimento com os diferentes estados do utilizador [27].

—**Universidade de Stanford** Utilização de câmaras e reconhecimento facial associado a machine learning para detetar possíveis estados de fadiga [17].

—Utilização de **EEG** para distinguir diferentes estados de fadiga através das leituras registadas [48].

3.4 Conclusão

Inteligência Ambiente pode ser considerada um conceito relativamente recente da tecnologia. O incremento de novos projetos comerciais e de investigação são prova da sua utilização, e do seu potencial futuro. Existem diferentes formas de olhar para esta área. Uma delas, provavelmente a mais importante para esta dissertação é a prestação de serviços ao utilizador baseado no conceito de AAL, que neste caso se converte numa monitorização. Assim como a sua aplicação em sistemas de ensino baseados em e-Learning. Desta forma acredita-se que a utilização da Inteligência Ambiente para a monitorização de fadiga mental é um cenário ideal para a resolução do problema em causa, especialmente por permitir uma monitorização autónoma e não intrusiva.

Capítulo 4

Deteção de Fadiga Mental

A detecção de fadiga é o processo chave para todo o sistema de monitorização de fadiga. A detecção deve ser efetuada de forma não invasiva e com a maior invisibilidade possível para o utilizador, de forma a obter resultados não influenciados, esperando-se resultados de uma utilização de forma natural e espontânea do utilizador. Esta detecção será baseada nos padrões de utilização do utilizador sob monitorização, no entanto é necessário atribuir esses mesmos padrões de utilização a um conjunto de indicadores de um possível estado de fadiga. Neste capítulo serão apresentados os indicadores de detecção, e uma proposta de modelo para detecção de fadiga baseado nesses mesmo indicadores.

4.1 Fatores de Fadiga Mental

A detecção de fadiga é normalmente associada a um estado de cansaço, quando uma pessoa não se sente no total das capacidades, e vê limitadas as suas capacidades tanto cognitivas como físicas [19, 39]. Partindo da definição de fadiga já apresentada, pode se afirmar que um estado de fadiga é antecedido por um início de perda de performance, por um aumento do número de erros, assim como uma perda de iniciativa e diminuição de atividade [53]. Nesta secção iremos apresentar

os diferentes fatores físicos, psicológicos e sociais que são influenciáveis e influenciadores um possível estado de fadiga para que se possa desenhar o modelo de detecção de fadiga.

4.1.1 Performance Mental

A performance humana é algo que pode ser considerado crítico em qualquer sistema de trabalho. É geralmente vista como a combinação entre a velocidade e o sucesso/precisão que um indivíduo mantém aquando da realização de uma tarefa [6]. A performance pode ser também dividida em duas dimensões, a performance física, normalmente associada à força, velocidade e agilidade dos nossos músculos, e a performance mental, associada às capacidades cognitivas, que vão desde a visão, concentração, precisão, memória ou capacidade de reação [3].

A performance mental é extremamente importante para a captura e medição da fadiga mental, pois esta manifesta-se sobretudo sobre as capacidades cognitivas. Mas porque permite também absorver a subjetividade que envolve a fadiga, e sobre tudo a fadiga mental [8, 30]. Da performance mental, destacam-se algumas capacidades cognitivas neste contexto que se passam a apresentar.

—**Memória.** A memória humana pode ser definida como a capacidade de adquirir, armazenar e recuperar informação no cérebro. A memória focaliza-se em coisas específicas e requer um esforço mental. Uma das formas de manifestação da fadiga mental é a diminuição da capacidade de memorização, sobre tudo a memória instantânea e pormenorizada. Com a idade esta acaba por se ir deteriorando e automaticamente diminuindo. [30].

—**Reação.** A reação pode ser vista como o comportamento de um ser vivo manifestado em presença de um estímulo. Pode consistir em um movimento, em uma secreção ou em mudança dos ritmos vitais. A nível psicológico pode ser vista como o tempo de reação (latência). Com a presença de cansaço e a presença um possível estado de fadiga mental, o tempo de reação tende a ser maior, e consequentemente uma menor capacidade de reação [30].

- Atenção.** A atenção pode ser vista como o processo cognitivo no qual o intelecto se focaliza e seleciona estímulos, estabelecendo relação entre eles. Pode ser vista como mais uma capacidade cognitiva que tende a diminuir com a presença de fadiga mental, fazendo com que esta diminua[30] .
- Concentração.** A concentração é processo cognitivo que permite a focalização em algo criando uma forte abstração do resto que o rodeia. É também fortemente afetada, diminuindo drasticamente, podendo até se perder esta capacidade temporariamente [8, 30, 31].
- Precisão.** A precisão pode ser vista como a capacidade de obter resultados dentro do esperado. O aparecimento ou mesmo aumento do número de erros significa uma diminuição de precisão. Perante um estado de fadiga mental a precisão tem tendência a diminuir, e dar tendência a um maior número de erros [6, 42].
- Visão.** A visão é um dos 5 sentidos do ser humano que permite a percepção do mundo. A capacidade de visão é fortemente afetada pela fadiga mental, assumindo-se uma maior dificuldade na percepção através da visão, e maior tempo de processamento de informação [8].

4.1.2 Perfil do Indivíduo

O perfil do indivíduo a monitorizar, é visto como o elemento chave da deteção de fadiga. Fatores como a idade, profissão, sexo ou mesmo hábitos sociais são extremamente influenciadores. Estes dados considerados de extrema importância [31] contribuem para a definição do perfil do utilizador a monitorizar. Os campos a ter em conta são os seguintes:

- Idade e sexo** Importantes para distinguir os diferentes resultados da performance mental, sobretudo a idade. Como já foi referido com o evoluir da idade algumas capacidades cognitivas vão sendo afetadas o que necessitam de uma atenção especial.

- Profissão** A profissão será importante para se poder integrar os resultados da performance na profissão que realiza, mas também para que se possa aperceber de alguns condicionantes que esta possa acarretar. O caso de trabalho noturno é um bom exemplo da influência que a profissão pode provocar num estado de fadiga mental.
- Álcool e tabaco** São dois fatores que condicionam a saúde mental do ser humano. Tanto o álcool como o tabaco acaba por influenciar física e psicologicamente, nomeadamente as dependências destes mesmo dois fatores.
- Complicações clínicas** Pretendem dar suporte aos dados a recolher, assim como criar um histórico para associação e posterior consulta. Através de complicações clínicas é possível por exemplo diagnosticar a causa de fadiga ou despistar a mesma.

4.1.3 Outros Fatores

Existe um conjunto de fatores e possíveis indicadores que se encontram no domínio da fadiga mental, que apesar de se encontrarem neste domínio não devam ser enquadrados como parte direta da fadiga mental, devem sim, ser tidos em conta como fatores externos que influenciam a fadiga mental. Estes fatores são possíveis contribuidores de causas de fadiga, exemplo disso é o stresse ou problemas de sono.

4.1.3.1 Sonolência

Muitas vezes confundida com a fadiga mental ou mesmo generalizada como tal, a sonolência é um sintoma que se mantém fortemente ligado à fadiga, sobretudo fadiga mental que é o foco deste trabalho. A sonolência está associada aos hábitos da pessoa, como o tempo que este dorme, ou mesmo com o horário de atividade [2, 26, 37]. A sonolência pode ser consequência de causas como falta de sono. É um dos primeiros indicadores de fadiga, podendo mesmo as causas de sonolência ser também causas de um possível estado de fadiga.

4.1.3.2 Estado de Humor

Como já referido os diferentes estados de humor são muitas vezes confundidos com o próprio conceito de fadiga mental, no entanto são estados diferentes e com alguma independência. Porém podem ser contribuidores e causadores de um possível estado de fadiga mental, assim como consequência dela. Um estado de humor mais negativo, como por exemplo tristeza pode provocar reações e limitações numa pessoa, ou, um estado mais positivo, como a felicidade por ser um atenuador de fadiga [6, 49].

4.1.3.3 Stresse

O Stresse pode ser definido como o conjunto de respostas tanto físicas, como mentais por parte de uma pessoa em resposta a estímulos externos e que permitem à pessoa superar determinadas exigências do meio ambiente e/ou contexto que provada muitas vezes um desgaste físico e/ou mental [31]. Este desgaste relaciona-se diretamente com a fadiga, podendo ser visto como um dos fatores causadores.

4.1.4 Modelo de Domínio da Fadiga

A fadiga é um conceito rodeado de subjetividade, sendo difícil a sua modelação em procura de uma objetividade difícil. No entanto baseando nos conceitos apresentados, e tendo em conta que a fadiga é vista como uma perda de performance e aumento do número de erros é possível construir um modelo de aproximação para a deteção de fadiga.

Este modelo baseia-se na entidade principal do problema que é a pessoa a monitorizar, todas as restantes entidades estarão ligadas diretamente à identidade pessoa. A análise da performance será a par do perfil do utilizador um dos pontos fulcrais para a deteção da fadiga, a perda de performance, assim como o aumento de erros.

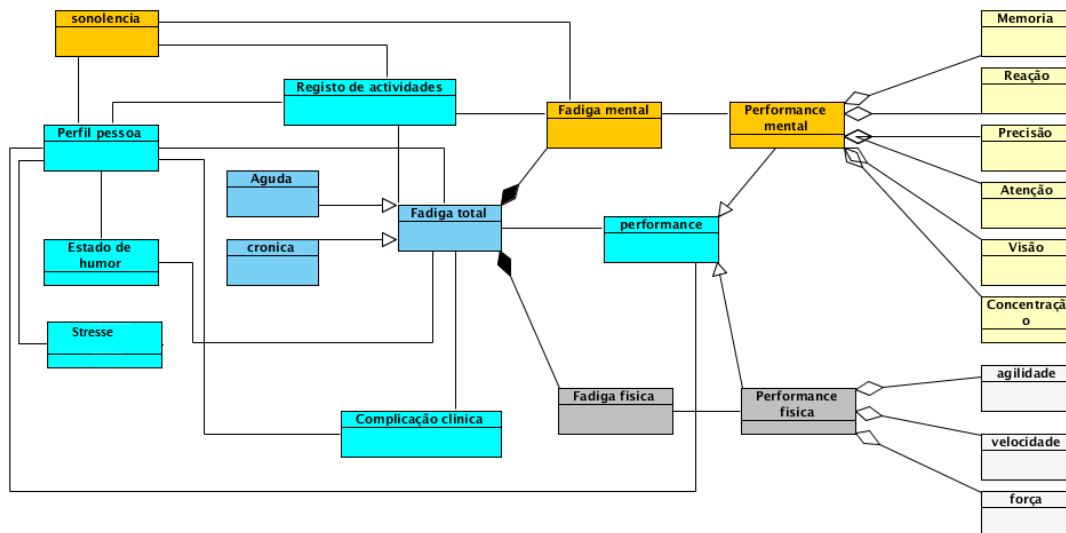


FIGURA 4.1: Modelo de domínio representativo da fadiga. Neste estão presentes as entidades principais ligadas à fadiga, e pelas quais deverá ser feito o estudo em causa.

O modelo que se apresenta na Figura 4.1 pretende representar estes mesmo conceitos assim como a sua relação. É esperado também a partir deste modelo que se consiga detetar e monitorizar a fadiga de forma eficiente, e desta forma obter resultados válidos.

4.2 Modelo Dinâmico de Detecção de Fadiga Mental

Apresentados os fatores que influenciam a fadiga mental é necessário agora definir indicadores que permitam detetar um possível estado de fadiga mental, e que se encontrem relacionados com os fatores apresentados. Um indicador de fadiga mental deverá fazer-se representar por uma ou mais métricas, que isoladamente ou em conjunto permitam detetar a presença de um estado de fadiga mental.

Como caso de estudo para deteção de fadiga mental sobre o conceito de Inteligência Ambiente irá-se utilizar o teclado e rato de um simples computador. Esta escolha recai primeiro por ser uma forma não invasiva para o utilizar, uma forma barata e sem necessidade de qualquer tipo de sensores específico. Devido à sua simplicidade

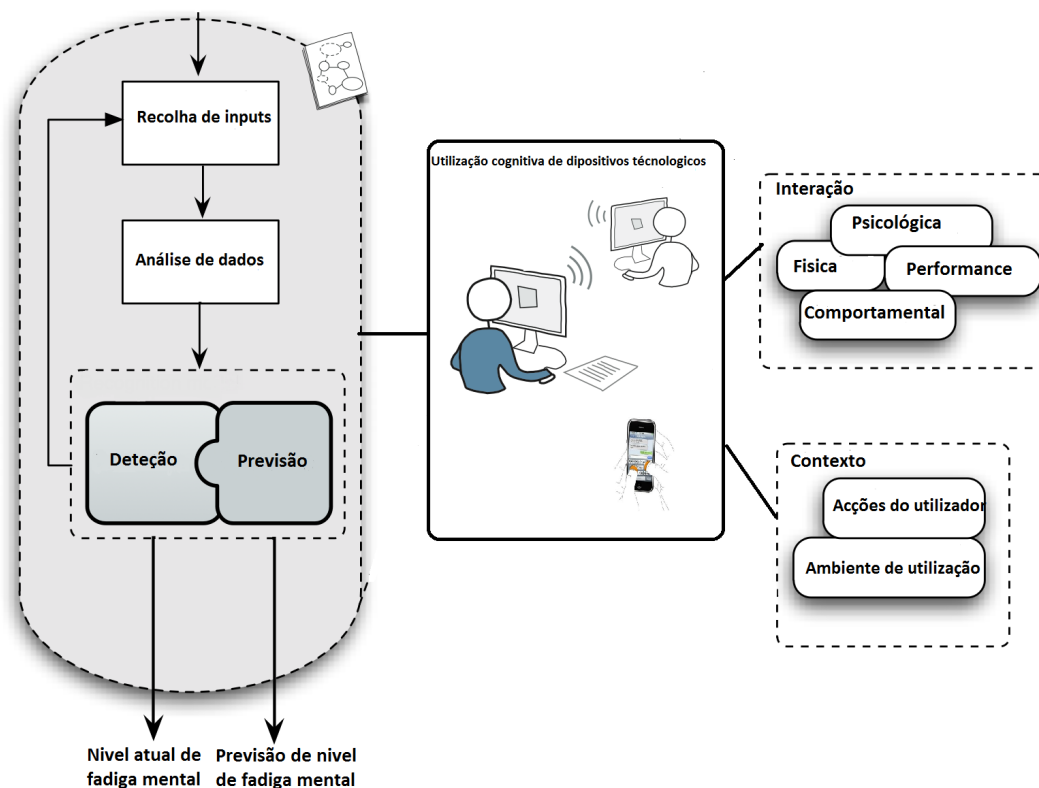


FIGURA 4.2: Visão geral do sistema dinâmico de detecção de fadiga mental num ambiente inteligente.

são acessíveis, e utilizados pela maior parte das pessoas. Esta será uma experiência inovadora, visto que a grande parte dos sistemas de detecção de fadiga mental e monitorização baseia-se fortemente no processamento de imagem, sendo que as que não o fazem são intrusivas ao utilizador.

Com esta abordagem para além de uma detecção de fadiga não invasiva, espera-se uma detecção constante, que permita uma monitorização baseada na mesma. O fato da utilização do rato e teclado de um computador ainda ser quase obrigatória no seu manuseamento, permite obter informação de forma fácil e constante. Estes dispositivos permitem a exploração da maioria dos fatores ligados à fadiga já apresentados, pois a utilização de um computador está diretamente associada à utilização das nossas capacidades cognitivas.

Como se pode ver na Figura 4.2 pretende-se a construção de um modelo dinâmico de detecção de fadiga através da interação do utilizador e do seu contexto. Assim através dos inputs provocados pelo manuseamento do rato e teclado por parte do

utilizar, pretende-se efetuar uma análise contínua aos mesmo de forma a permitir detetar e prever possíveis estados de fadiga mental.

4.2.1 Biométricas Comportamentais

A biometria é a ciência que estuda as caraterísticas físicas e/ou comportamentais dos seres vivos. As suas características podem ainda ser divididas em características físicas e caraterísticas comportamentais. As características físicas (tamanho da mão, impressão digital) são as características que são independentes do comportamento humano, enquanto que as características comportamentais (forma de escrever num teclado, forma de olhar) podem variar perante alguns fatores como o humor, fadiga, stresse entre outros [28]. O uso de biométricas comportamentais permite uma análise de padrões comportamentais de forma não intrusiva e até mesmo invisível ou desconhecida pelo utilizador.

Existe um vasto conjunto de biométricas comportamentais, no entanto para a deteção de fadiga mental são necessárias biométricas resultantes da interação humano-computador.

TABELA 4.1: Exemplos de algumas biométricas de possível utilização para a deteção de fadiga mental

Biométrica	Input	Software	Interação humano-computado	Habilidade motora	Hardware
Dynamics Mouse	X		X	X	Rato
Keystroke Dynamics	X		X	X	Teclado
Registry Access					Computador
Voice	X		X		Microfone

Das biométricas comportamentais apresentadas na Tomabela 4.1, **Keystroke Dynamics** e **Dynamics Mouse** através do uso do teclado e do rato respetivamente, revelam-se as mais adequadas para a deteção de fadiga mental, pois resultam da interação computador-humano da forma mais natural e não são tão influenciada por outros fatores externos, assim como são de rápida identificação. Estas biométricas comportamentais são de fácil recolha, podendo-se até afirmar que são de certa forma invisíveis ao utilizador.

4.2.2 Recolha de Informação e Análise do Ambiente

O estudo da fadiga mental, das suas causas e sintomas tem sido abordado por especialistas da área da medicina e da psicologia. Tradicionalmente estes estudos são feitos baseados em informação recolhida através de questionários onde a pessoa em estudo se auto descreve, ou através de sensores fisiológicos. No entanto estas formas de recolha de informação têm algumas desvantagem que se pode assumir mesmo com limitações ao estudo [38, 50]. O caso dos questionários pode-se destacar (1) a tendência das pessoas em exagerar nas suas respostas, tanto positivamente como negativamente (hipocondríaco), (2) métodos estáticos, passado algum tempo servem apenas para histórico, não acompanhando as mudanças, (3) são inadequados para representar certa informação mais complexa (e.g emoções, sentimentos, comportamentos), (4) são totalmente dependentes de uma formalização e consequente interpretação das questões. O caso dos sensores padece também de algumas limitações tais como: (1) a maior parte deles são de uso incómodo e invasivo ao seu utilizador, (2) sensores invasivos acabam por afetar os resultados, proporcionando alterações nos resultados das medições.

É proposta nesta investigação a deteção de fadiga mental de uma forma autónoma e não intrusiva. Para tal é necessário a escolha de um conjunto de características que permitam analisar o uso natural do utilizador, ao mesmo tempo que provem e distingam a diferença de um estado de fadiga de um estado normal. Baseando nas biométricas comportamentais, e no uso do teclado e rato (**Keystroke Dynamics** e **Dynamics Mouse**) de um computador pessoal são apresentadas um conjunto de métricas que tem como objetivo representar indicadores na deteção de fadiga mental. Com estas métricas espera-se analisar as diferenças de comportamentos entre estados de fadiga e estados mentais normais de forma não intrusiva e invasiva [11, 40]. As métricas apresentam-se de seguida:

—**Tempo de pressão de uma tecla** - tempo gasto desde que a tecla é pressionada para baixo e é largada posteriormente, ou seja, tempo desde o evento KEY_DOWN e KEY_UP de forma consecutiva.

Unidade: milissegundos

- Tempo entre teclas** - tempo gasto entre a utilização de duas teclas, ou seja, tempo gasto entre os eventos KEY_UP e KEY_DOWN consecutivos.

Unidade: milissegundos

- Erros por tecla** - número de vezes que a tecla backspace é pressionada sobre o total de teclas pressionadas.

- Aceleração do rato** - aceleração do manuseamento rato em determinado momento. O valor da aceleração é calculado através da velocidade do rato (pixel/milissegundos) sobre o tempo de movimento (milissegundos).

Unidade: $pixel/milissegundos^2$

- Velocidade do rato** - velocidade do manuseamento do rato em determinado momento. A distância percorrida pelo rato (em pixels) entre uma coordenada C1 (x_1, y_1) e uma C2 (x_2, y_2) correspondentes a $time_1$ e $time_2$ sobre o tempo (em milissegundos). Assumindo o vector posx e posy de tamanho N, resultantes das coordenadas C1 e C2. A velocidade entre dois pontos é então dada por $r\_dist/(time_2 - time_1)$, onde r_dist representa a distância percorrida entre as duas coordenadas e pode ser calculada através da equação (4.1).

Unidades: $pixel/milissegundos$

$$r\_dist = \sum_{i=0}^{n-1} \sqrt{(posX_{i+1} - posX_i)^2 + (posY_{i+1} - posY_i)^2} \quad (4.1)$$

- Tempo entre clicks** - tempo gasto entre dois clicks consecutivos, entre os eventos MOUSE_UP and MOUSE_DOWN consecutivos.

Unidade: milissegundos

- Duração de duplo click** - período de tempo entre dois eventos MOUSE_UP consecutivos, sempre que este período de tempo é inferior a 200 milissegundos. Durações maiores não são considerados duplo clicks.

Unidade: milissegundos

- Excesso médio de distância** - distância média em excesso entre o caminho de dois clicks consecutivos. Esta métrica mede o excesso médio da distância que

o rato viajou entre cada dois eventos MOUSE_UP e MOUSE_DOWN consecutivos. Supondo dois eventos MOUSE_UP e MOUSE_DOWN consecutivos, mup e mdu , respetivamente, nas coordenadas $(x1, y1)$ e $(x2, y2)$. Para calcular esta métrica, primeiro é medido a distância em linha reta entre as coordenadas do mup e mdu como $s\_dist = \sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}$. Em seguida, é medida a distância percorrida pelo rato através da soma da distância entre cada dois eventos MOUSE_MV consecutivos. Vamos supor dois vetores $posX$ e $posY$, de tamanho n , representando as coordenadas dos eventos MOUSE_MV consecutivos entre mup e mdu . A distância percorrida pelo rato, $real\_dist$ é dada pela equação (4.1). O excesso em média da distância entre os dois cliques consecutivos é dada por r_dist/s_dist .

Unidade: pixels

—**número de duplos clicks** - número total de duplos clicks efetuados.

—**distância de um click** - distância percorrida durante um click. Representa a distância total percorrida pelo rato durante um click, ou seja, entre cada dois MOUSE_DOWN e MOUSE_UP consecutivos. Vamos supor dois eventos MOUSE_DOWN e MOUSE_UP consecutivos, o mdu e mup , respetivamente, nas coordenadas $(x1, y1)$ e $(x2, y2)$. Vamos supor também dois vetores $posX$ e $posY$, de tamanho n , representando as coordenadas dos eventos MOUSE_MV consecutivos entre mdu e mup . A distância total percorrida pelo rato é dada pela equação (4.1)

Unidade: pixels

—**Soma dos ângulos** - soma dos ângulos ao virar para a esquerda ou para a direita do ponteiro do rato durante a viagem. Com esta métrica pretende-se descobrir a tendência de movimento do utilizador, se tende para a esquerda ou para a direita durante o movimento do rato. Suponhamos três eventos MOUSE_MOVE consecutivos, $mov1$, $mov2$ e $mov3$, respetivamente nas coordenadas $(x1, y1)$, $(x2, y2)$ e $(x3, y3)$. O ângulo α entre a primeira linha (definida por $(x1, y1)$ e $(x2, y2)$) e a segunda linha (definida por $(x2, y2)$ e $(x3, y3)$) é dada por $grau(x1, y1, x2, y2, x3, y3) = \tan(y3 - y2, x3 - x2) - \tan(y2 - y1, x2 - x1)$.

Suponhamos agora que perante dois eventos MOUSE_UP consecutivo e eventos MOUSE_DOWN, mup e mdo . Vamos supor também dois vetores $posX$ e $posy$, de tamanho n , definindo as coordenadas dos eventos MOUSE_MOV consecutivos entre mup e mdo . A soma dos ângulos assinados entre estes dois cliques é dada pela equação (4.2).

Unidade: Grau ($^{\circ}$)

$$s\_angle = \sum_{i=0}^{n-2} grau(posX_i, posY_i, posX_{i+1}, posY_{i+1}, posX_{i+2}, posY_{i+2}) \quad (4.2)$$

—**Soma absoluta dos ângulos** - soma absoluta dos ângulos ao virar para a esquerda ou para a direita do ponteiro durante a viagem. Esta métrica é muito semelhante à anterior. No entanto, procura encontrar apenas o quanto o rato "virou", independentemente da direção para a qual ele se virou. Nesse sentido, a única diferença é a utilização do valor absoluto do valor retornado pelo grau de função $(x1, y1, x2, y2, x3, y3)$, conforme ilustrado na equação (4.3)

Unidade: Grau ($^{\circ}$)

$$s\_angle = \sum_{i=0}^{n-2} |grau(posX_i, posY_i, posX_{i+1}, posY_{i+1}, posX_{i+2}, posY_{i+2})| \quad (4.3)$$

—**Média da distância viajada e uma linha reta** - esta métrica mede a distância média das diferentes posições do ponteiro entre dois pontos durante um movimento, e o caminho em linha reta entre esses mesmos dois pontos. Vamos supor dois eventos MOUSE_UP e MOUSE_DOWN consecutivos, mup e mdo , respetivamente, nas coordenadas $(x1, y1)$ e $(x2, y2)$. Supondo os vetores $posX$ e $posY$, de tamanho n , representando as coordenadas dos eventos MOUSE_MOV consecutivos entre mup e mdo . A soma das distâncias entre cada posição e a linha reta definida pelos pontos $(x1, y1)$ e $(x2, y2)$ é dada pela equação (4.4), no qual $ptLineDist$ retorna a distância entre o ponto especificado e o ponto mais próximo da linha definida por $(x1, y1)$ e $(x2, y2)$. A distância média entre a distância viajada pelo rato e a linha reta definida pelos pontos iniciais e finais é dada por s_dists/n .

Unidade: pixels

$$s\_dists = \sum_{i=0}^{n-1} ptLineDist(posX_i, posY_i) \quad (4.4)$$

—**Soma da distância viajada pelo rato para uma linha reta** - esta métrica é semelhante à anterior, no sentido de que irá calcular os s_dists entre dois eventos MOUSE_UP e MOUSE_DOWN consecutivos, mup e mdo , de acordo com a equação (4.4). No entanto, o resultado é a soma em vez do valor médio durante o caminho.

Unidade: pixels

4.2.3 Módulo de Captura de Informação

Para se obter as métricas definidas na secção anterior é necessário capturar todos os eventos produzidos pelo input de utilização de um rato e teclado. De um teclado normal é possível registar o momento em que uma tecla é pressionada e quando é libertada. Estes eventos associados a um timestamp permitem gerar toda a informação necessária para a utilização das métricas dependentes do teclado. Da parte dos eventos produzidos por um rato, através do registo das diferentes posições ocupadas no ecrã, assim como dos clicks provocados tanto pelo botão direito e esquerdo associado mais uma vez a um timestamp é possível obter a informação necessária para calcular as métricas associadas à utilização de um rato normal. Todos estes eventos são registados pelo módulo de captura (Figura 4.3) e guardados em ficheiro para posterior processamento e interpretação da informação contida. O conjunto de eventos guardados são os seguintes:

- MV,timestamp, posX, posY** - evento que descreve o movimento em determinado momento de coordenadas (posX, posY).
- MD, timestamp, [Left ou Right], posX, posY** - este evento regista a primeira parte de um click de um botão do rato (botão esquerdo, ou direito) quando este é pressionado para baixo.

- MU, timestamp, [Left ou Right], posX, posY** - evento semelhante ao anterior, mas que regista a segunda parte do click, ou seja quando este é libertado.
- MW, timestamp,dif** - este evento descreve a rotação da roda do rato que controlada permite fazer "scrool"em determinado momento.
- KD, timestamp, key** - regista quando uma tecla é pressionada para baixo, em determinado momento.
- KU, timestamp,key** - regista o evento em que uma determinada é tecla é libertada, assim como o momento em que decorreu.

O conjunto de eventos MV (um para cada pixel no movimento do rato) permite descrever com precisão os movimentos realizados pelo rato.

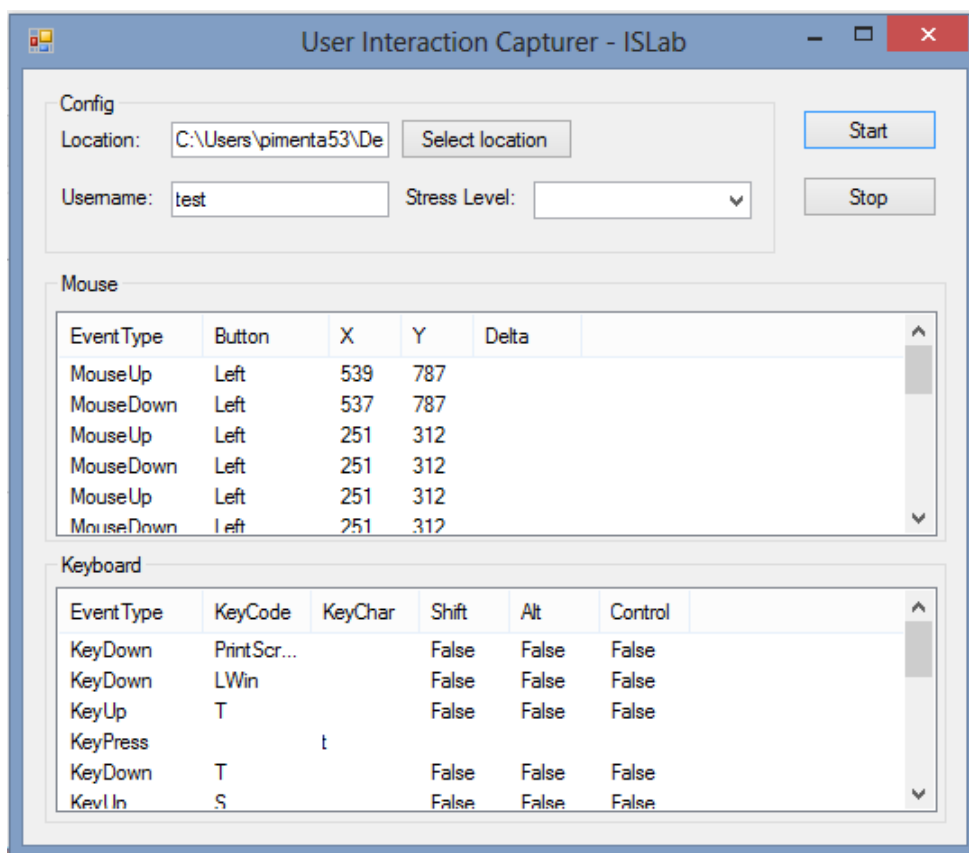


FIGURA 4.3: Módulo de captura de inputs do utilizador aquando da utilização do rato e teclado. Na interface gráfica apresentada é possível ver alguns eventos registados.

4.3 Conclusão

Para uma monitorização de fadiga mental eficaz é necessário inicialmente definir quais os fatores que influenciam a mesma. Com estes fatores é possível detetar estados de fadiga mental através de simples indicadores. Estes indicadores vão permitir identificar um possível estado de fadiga caso se verifique que influenciam de certa forma os fatores de fadiga mental.

Seguindo o paradigma computacional da Inteligência Ambiente pode se afirmar que se procura uma sensorização invisível ao utilizador, e para isso foi proposto como caso de estudo, o manuseamento do teclado e rato de um computador. Foram ainda definidas um conjunto de métricas baseadas biométricas comportamentais, **Keystroke Dynamics** e **Dynamics Mouse** que se definem através dos eventos provocados pelo teclado e rato. Com estas métricas apresentadas pretende-se provar que estas se encontram diretamente relacionadas com os fatores de fadiga mental apresentados, e como tal podem ser utilizadas como indicadores de fadiga mental.

Capítulo 5

Caso de Estudo

Um dos principais objetivos de investigação desta dissertação passa pela identificação de indicadores de fadiga mental que permitam a deteção de fadiga através do uso de um rato e teclado de um simples computador. Recorrendo a um conjunto de métricas previamente definidas, e que em grande parte se inspiram nas biométricas comportamentais Keystroke Dynamics e Dynamics Mouse, foram definidos um conjunto de indicadores para deteção de fadiga. Para tal foi necessário recolher padrões de utilização do rato e teclado por parte dos seus utilizadores num estado mental normal, ou seja, sem estar perante um estado de fadiga, e posteriormente a recolha de padrões de utilização dos mesmo utilizadores perante a presença de um estado de fadiga mental. Neste capítulo será apresentada a experiência realizada, assim como os resultados obtidos.

5.1 Metodologia

Como já referido, um dos objetivos principais desta investigação passa pela identificação de estados de fadiga mental de uma pessoa a quando da utilização do seu computador. Para isso foram definidos um conjunto de métricas resultantes da utilização do rato e teclado baseadas numa aproximação a alguns dos diferentes fatores de fadiga também já apresentados. Esta investigação pode então ser

identificada pela seguinte questão e hipótese: (a) será possível mapear aspetos relacionados com fadiga mental em métricas de utilização de um dispositivo tecnológico, e no caso de estudo específico, através do rato e teclado de um simples computador ? (b) será possível a monitorização de fadiga mental em tempo real, de forma objetiva para diferentes pessoas?

Para responder a estas perguntas é necessária uma recolha de dados de utilizadores sob um estado mental normal, e um estado de fadiga mental. Tarefa esta complexa e difícil execução, pois a indução artificial de fadiga mental no ser humano é muito difícil, e resultante de tarefas demoradas. No entanto sabe-se que a fadiga aguda resulta do acumular exercício/esforço [5], ou da realização contínua de uma tarefa, ou mesmo de um desgaste resultante do acumular de tarefas realizadas. É ainda necessário que estes mesmos dados sejam recolhidos sem qualquer interferência externa, para que seja excluída qualquer tipo de influência que possa vir a afetar os dados a recolher. Procura-se assim um conjunto de dados resultantes da interação natural entre humano-computador.

Para a realização da experiência foi então pedido a um conjunto de 20 voluntários, 17 do sexo masculino e 3 do sexo feminino com idades compreendidas entre os 18 e 50 anos de idade a utilização do módulo de captura de inputs dados pelo utilizador ao efetuar a experiência. Esta aplicação já apresentada, limita-se a recolher todos os eventos resultantes da interação humano-computador através do teclado e rato, registando quais os eventos acionados, assim como o espaço temporal de quando foram provocados e a sua duração. Através dos registos destes eventos será processada a informação recolhida, manifestando-se através dos indicadores descritos na secção 4.2.2.

Por fim é necessária uma análise aos dados recolhidos nos dois cenários, normal e fadiga, com o objetivo de provar a existência de uma diferença significativa nas distribuições dos dados recolhidos. Para esta mesma análise decidiu-se fazer uma análise estatística recorrendo ao software Wolfram Mathematica 8¹.

---

¹<http://www.wolfram.com/>

5.2 Recolha de Dados

A recolha de dados foi efetuada em duas fases distintas. A primeira foi iniciada na parte da manhã do dia em que se realizou a experiência. Foi pedido ao utilizador que inicia-se a aplicação de recolha de dados no início da utilização do seu computador para que se pode-se obter dados de um estado mental normal do utilizador, tendo sido recolhidos dados durante o resto da manhã. Os dados recolhidos da parte da manhã resultam de um esperado estado mental normal do utilizador, assumindo que o utilizador não se encontra cansado e apenas a iniciar qualquer tipo de trabalho cognitivo. A segunda fase de recolha de dados foi efetuada da parte de tarde do mesmo dia. Nesta fase o utilizador inicia o software da recolha de dados após já ter iniciados os seus trabalhos (da parte da manhã), expectando-se assim que o facto de já ter horas de trabalho acumulado resultem num estado de fadiga mental com o evoluir do tempo, como se pode ver nas figuras 5.1 e 5.2. Os dados são recolhidos em background, não interferindo utilização do computador por parte do utilizador.

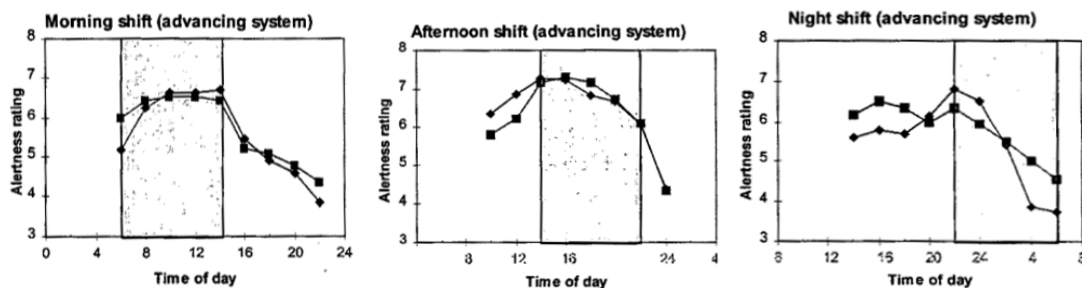


FIGURA 5.1: Nível de atenção durante trabalho realizado durante 8 horas seguidas. Imagem retirada de [45].

Desta forma é expectado que o conjunto de dados recolhidos da parte da manhã, a quando do início de trabalho do utilizador corresponda a um estado mental normal do utilizador no manuseamento do computador. Uma utilização que revele uma performance superior à dos dados recolhidos na segunda fase da experiência [45]. Já dos dados recolhidos da parte de tarde espera-se a manifestação de fadiga aguda resultante do acumular trabalho contínuo. Nesta fase são esperados dados que revelem uma baixa de performance e um aumento de erros em relação aos

dados recolhidos da primeira fase, revelando assim um estado de fadiga aguda eminente.

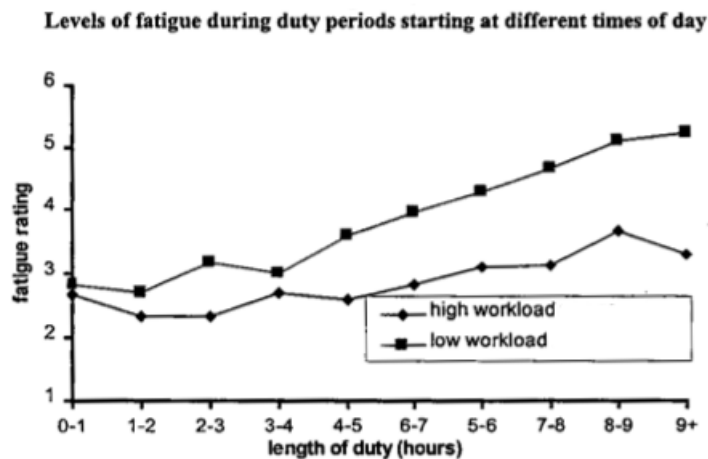


FIGURA 5.2: Nível de fadiga com o acumular de tempo de trabalho. Imagem retirada de [45].

5.3 Processamento de Dados

Os dados recolhidos pela aplicação de recolha de dados resultam num registo do conjunto de eventos provocados pela utilização de um rato e teclado por parte de um utilizador. Esta informação só por si é inútil, pois não permite extrair informação relevante e capaz de interpretação. É então necessário processar a informação relativa aos eventos registados e transformar esta mesma informação nas características apresentadas a estudo, para que se possa retirar e analisar a informação proveniente do registo de eventos provocados pelo rato e teclado. Para processar os eventos registados foi desenvolvido uma aplicação que recebe como input os eventos registados, e transforma este conjunto de dados em parâmetros que serão avaliados pelas métricas definida, e que são o resultado da aplicação como output.

Tendo sido recolhidos todos os dados num ambiente de liberdade de utilização e não influenciado por qualquer fator externo, é necessária uma limpeza e validação

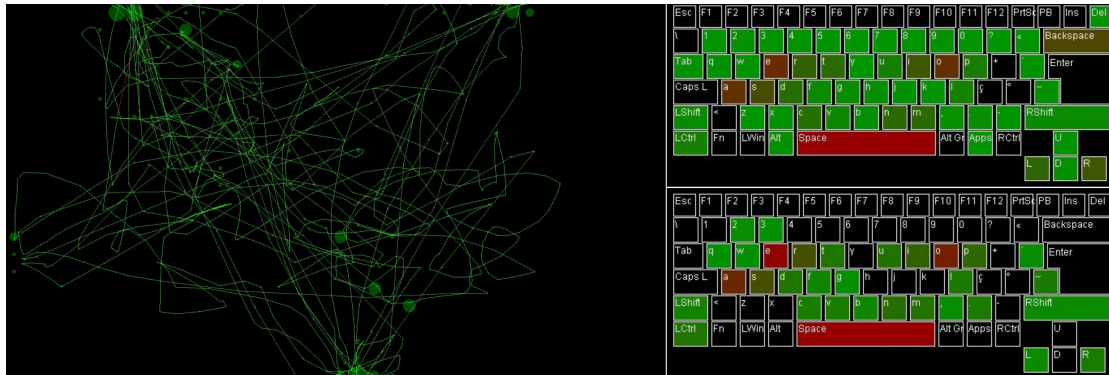


FIGURA 5.3: Visualização dos dados recolhidos de um utilizador. A imagem da esquerda mostra os movimentos efetuados pelo rato, as áreas onde foram efetuados clicks. As duas imagens à direita representam os dados relativos ao uso do teclado: a imagem no top é referente ao uso das diferentes teclas, e a inferior relativa as terras onde houve mais erros de digitação

destes mesmos dados, pois podem conter algumas inconsistências ou mesmo contradições. Após a transformação destes dados é então feito um segundo processamento de dados, neste caso de limpeza de dados. Aqui foram filtrados e analisados os dados já transformados. A filtragem de dados passa pela remoção de *outliers*. A utilização do teclado e mesmo do rato é muito propícia à existência de *outliers*, muito devido à possibilidade de combinação de comandos, um bom exemplo é o caso da utilização da tecla shift para a escrita de maiúsculas ou mesmo o uso da tecla backspace. Mas existe outro tipo de dados que necessitam de ser removidos, que mais uma vez podem ser considerados *outliers*, como por exemplo o tempo entre teclas, apenas deverá ser considerado entre teclas ativas seguidas, devendo ser eliminados os tempos inativos dentro de determinado intervalo de tempo no qual se considera inativo o uso do teclado. Para isso os *outliers* são eliminados antes de efetuar o estudo estatístico como se pode ver de seguida.

```
quartiles=Quartiles[data]

upper=quartiles[[3]]//N
lower=quartiles[[1]]//N

iq = InterquartileRange[data]//N

mildUpperLimit = (iq*1.5)+upper//N
mildLowerLimit = lower - (iq*1.5)//N
```

```

extremeUpperLimit = (iq*3)+upper//N
extremeLowerLimit = lower - (iq*3)//N

filter[l_, lower_, upper_]: Module[{list = {}},
  Do[
    If[ l[[i]] > lower && l[[i]] < upper, list = Append[list,l[[i]]],
    {i, Length[l]}
  ];
  Return[list]
]

newData = filter[data,extremeLowerLimit,extremeUpperLimit]

```

LISTING 5.1: Função de eliminação de *outliers* no Wolfram Mathematica

5.4 Pré-análise de Dados

A cada utilizador foi solicitado a execução da aplicação de recolha de eventos registados pelo teclado e rato, enquanto o utilizador realiza as suas tarefas de forma normal e não influenciada. Aos dados recolhidos em início de trabalho são chamadas de dados sobre um estado de mental normal, enquanto os dados recolhidos em fim de trabalho são chamados de dados sobre estado de fadiga mental.

Dos dados recolhidos e apresentados na Tabela 5.1 pode-se verificar que o número de duplos clicks e duração dos mesmos têm um *dataset* quase nulo, e que a distância de um click tem *dataset* com tamanhos muito desiguais, o que se pode concluir que não terão grande valor para o estudo, podendo ser descartados logo à partida.

5.5 Análise Estatística de Dados

Para se determinar se cada uma das métricas em estudo são influenciadas perante um estado de fadiga mental, ou não, é necessário comparar os dados recolhidos sobre um estado mental normal com os dados recolhidos sobre um estado de fadiga

TABELA 5.1: Resumo do tamanho dos *dataset* final após remoção de *outliers* para as diferentes métricas, tanto na primeira fase, ou fase normal, e da segunda fase, ou fase de fadiga.

<i>Métrica</i>	<i>Tamanho do dataset Normal</i>	<i>Tamanho do dataset Fadiga</i>
Tempo de pressão de uma tecla	43070	38034
Tempo entre teclas	46664	43529
Erros por tecla	20	20
Aceleração do rato	297166	306188
Velocidade do rato	293787	301823
Tempo entre clicks	683	820
Duração de duplo clicks	4	1
Excesso médio de distância	8140	6771
Número de duplos clicks	4	1
distância de um click	309	23
Soma dos ângulos	9085	9342
Soma absoluta dos ângulos	8970	7839
Média da distância viajada e uma linha reta	8488	7631
Soma da distância viajada pelo rato para uma linha reta	8359	6953

mental. Provada que a maioria das distribuições das amostras não são normais, emerge a necessidade da utilização de testes não paramétricos, pois são aplicáveis independentemente da distribuição da população. Para se provar então que a fadiga mental influencia as métricas em estudo é necessário inicialmente provar que estas são independentes, ou seja, uma métrica a ser avaliada pelo mesmo utilizador perante um estado de fadiga mental e num estado mental normal revela valores com uma diferença significativa.

Optou-se pela utilização do teste Mann-Whitney (teste de hipótese estatístico não paramétrico) para provar que uma das amostras independentes revela uma

tendência para valores mais elevados relativamente à outra. A hipótese nula do teste é a seguinte: $H_0 = \text{as medianas das duas distribuições são iguais}$. Por cada duas amostras comparadas o teste retorna um p -value, sendo que quanto menor for o valor deste mesmo p -value, mais improvável se revela a veracidade de H_0 . Para os testes realizados para cada uma das métricas em estudo definiu-se um $\alpha = 0.05$, partindo-se assim do pressuposto que $p - \text{value} < \alpha$, é uma diferença considerada satisfatoriamente significativa, e consequente H_0 é rejeitado.

Uma diferença significativa entre os dados recolhidos num estado mental normal e um estado de fadiga mental para uma mesma métrica, revela que esta é de facto influenciada perante um estado de fadiga, ou seja é um indicador de presença de fadiga. Pode-se afirmar que quanto maior for a diferença, mais confiança traduz a métrica para o estudo em causa.

Através do teste Mann-Whitney pode-se então obter conclusões sobre o real valor na utilização de cada métrica para a monitorização de fadiga mental. Esta mesma abordagem foi o primeiro passo dado sobre a análise do conjunto de dados recolhidos.

Das tabelas 5.2 e 5.3 pode-se observar os resultados baseados nos dados recolhidos dos 20 utilizadores. Podemos observar de partida que, o tempo de pressão de uma tecla, o tempo entre teclas, o número de erros por tecla, a aceleração do rato, a velocidade do rato e tempo entre clicks são das métricas inicialmente propostas as que revelam diferença significativa entre os dados de um estado mental normal e um estado de fadiga mental, com um $p - \text{value} < \alpha$. Pode-se então concluir que das métricas inicialmente propostas, estas são as que realmente revelam valor como possíveis indicadores de fadiga, pois como já referido revelam diferenças significativas entre as distribuições. Existem ainda algumas métricas com comportamentos bem definidos como por exemplo a média da distância viajada em linha reta, excesso de distância, ou mesmo a soma dos ângulos, mas que no entanto não revelam uma diferença significativa, com um $p - \text{value} > \alpha$. Assim como o tempo entre clicks que apesar de revelar um valor estatístico significativo, não tem um

TABELA 5.2: Resultado da análise estatística da média e mediana dos dados dos 20 participantes.

Métrica		Normal	Fadiga	Tendência
Tempo de pressão de uma tecla	Média:	79.827	87. 119	Aumento em 100%
	Mediana:	77.601	81.502	Aumento em 60%
Tempo entre teclas	Média:	469. 193	1040.26	Aumenta em 100%
	Mediana:	215.75	386.55	Aumenta em 90%
Erro por tecla	Média:	7.643	9.002	Aumenta em 90%
	Mediana:	7.444	8.598	Aumenta em 90%
Aceleração do rato	Média:	0.4238	0.3829	Diminui em 90%
	Mediana:	0.2202	0.2010	Diminui em 100%
Velocidade do rato	Média:	0.5002	0.4401	Diminui em 90%
	Mediana:	0.2680	0.2537	Diminui em 100%
Tempo entre clicks	Média:	3081.35	3257.61	Aumenta em 50%
	Mediana:	1733.30	1863. 15	Aumenta em 50%
Excesso médio de distância	Média:	224.919	245.437	Aumenta em 60%
	Mediana:	154.722	168.437	Aumenta em 60%
Soma dos ângulos	Media:	-6.318	-13.346	Diminui em 90%
	Mediana:	-3.980	-5.370	Diminui em 80%
Soma absoluta dos ângulos	Média:	4398.4	5290.72	Aumenta em 90%
	Mediana:	3079.32	3752.89	Aumenta em 80%
Média da distância viajada e uma linha reta	Media:	41.49	49.00	Aumenta em 90%
	Mediana:	23.20	27.33	Aumenta em 80%
Soma da distância viajada pelo rato para uma linha reta	Mediana:	297.955	390.591	Aumenta em 90%
	Mediana:	122.088	161.29	Aumenta em 70%

comportamento vincado. Estas métricas são assim consideradas com valor não provado para o estudo.

Após esta primeira análise aos dados recolhidos, e a consequente exclusão das métricas sem valor real provado para o estudo, passou-se para uma análise mais pormenorizada de cada uma das métricas com valor potencialmente significativo para o estudo , nomeadamente : o tempo de pressão de uma tecla , o tempo entre teclas, o número de erros por tecla, a aceleração do rato, a velocidade do rato. Da segunda análise é esperada de cada uma das métricas perceber o seu comportamento em cada um dos cenários, o de um estado mental normal e o de um estado de fadiga mental.

TABELA 5.3: Resultado da análise estatística do teste Mann-Whitney para 20 participantes

Métrica	p-value médio	H0
Tempo de pressão de uma tecla	$0.7 * 10^{-4}$	Rejeitado em 100%
Tempo entre teclas	$1.23 * 10^{-144}$	Rejeitado em 90%
Erros por tecla	$2 * 10^{-2}$	Rejeitado em 90%
Aceleração do rato	$3.01 * 10^{-11}$	Rejeitado em 90%
Velocidade do rato	$5.03 * 10^{-15}$	Rejeitado em 90%
Tempo entre clicks	$5.8 * 10^{-4}$	Rejeitado em 70%
Excesso médio de distância	0.963	Rejeitado em 40%
Soma dos ângulos	0.212	Rejeitado em 50%
Soma absoluta dos ângulos	0.622	Rejeitado em 50%
Média da distância viajada e uma linha reta	0.791	Rejeitado em 60%
Soma da distância viajada pelo rato para uma linha reta	0.472	Rejeitado em 60%

5.5.1 Tempo entre teclas

O tempo entre teclas é calculado sempre que duas teclas são pressionadas consecutivamente, sendo o resultado do tempo de mudança de teclas. Com esta métrica espera-se poder medir a velocidade de utilização, e escrita no teclado por parte do utilizador. De certa forma uma escrita mais rápida e eficiente está ligada a uma capacidade de concentração e precisão a quando do exercício de escrita. Assim como se encontra ligada à memória, caso da memorização da disposição das diferentes teclas do teclado. É então esperado que uma escrita mais lenta, assim como um aumento do tempo entre teclas revele um possível estado de fadiga mental.

TABELA 5.4: Valores médios resultantes dos 20 voluntários para o tempo de pressão de teclas

<i>Estado</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
normal	79.8263	7.752	80.50	88.24	63.48
fadiga	85.53	5.87	87.29	92.05	72.70

Como se pode observar pela Figura 5.5 e pelos resultados da Tabela 5.4, verifica-se um aumento do tempo entre teclas no estado mental normal para o estado de

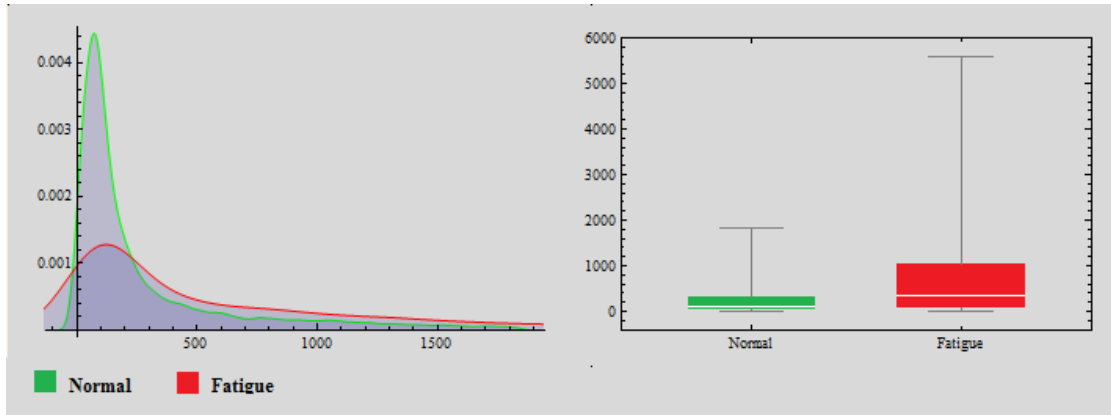


FIGURA 5.4: Histograma e blox plot comparando os dados das duas distribuições para o tempo entre teclas para um voluntário da experiência.

fadiga mental, tal como se esperava. Verifica-se um aumento da média, que assume um valor de 79.826 num estado normal para 85.53 perante a influência de fadiga mental. A mediana assume também um aumento de 80.502 para 87.29 assim como os valores extremos da amostra.

Esta diferença de valores revela-se significativa em 90% dos casos com um p -value $< \alpha$ resultante do teste Mann-Whitney médio de $1.23 * 10^{-144}$, e consequentemente H_0 rejeitado.

5.5.2 Tempo de pressão de uma tecla

O tempo de pressão de uma tecla regista o tempo total desde que a tecla é inicialmente pressionada até que é libertada pelo utilizador. Com a medição desta métrica espera-se de certa forma poder analisar a precisão de toque no teclado assim como avaliar a reação do utilizador. Espera-se que um toque mais rápido revele uma reação e precisão mais rápidas e eficazes.

TABELA 5.5: Valores médios resultantes dos 20 voluntários para o tempo entre teclas

<i>Estado</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
normal	469.193	399.321	299.726	1316.93	78.0596
fadiga	956.367	632.898	943.678	2156.4	87.892

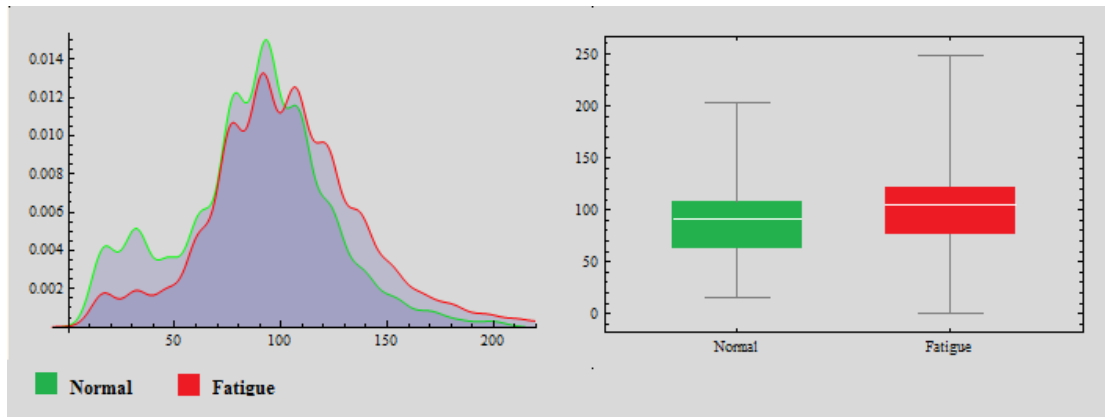


FIGURA 5.5: Histograma e blox plot comparando os dados das duas distribuições para o tempo de pressão de teclas para um voluntário da experiência.

Como se pode observar pela Figura 5.4 e pelos resultados da Tabela 5.5, verifica-se um aumento do tempo de pressão sobre as teclas em estado mental normal para o estado de fadiga mental, tal como previsto. A média do tempo de pressão de teclas quase que duplica de um estado normal para um estado de fadiga passando de 469.193 para 956.367. A mediana sofre um aumento ainda maior em relação à média, passando de 299.726 para 943.678. Mais uma vez este aumento verifica-se nos valores extremos das amostras.

O valor significativo é provado com um $p - value < \alpha$ resultante do teste Mann-Whitney, e consequentemente H_0 rejeitado em 100% dos casos de estudo. O valor médio do p-value fixou-se em $0.7 * 10^{-4}$.

5.5.3 Aceleração

É expectado que a aceleração de movimentos do rato durante o seu manuseamento seja mais rápida na ausência de um estado de fadiga. A movimentação do rato está diretamente relacionada com a visão e reação. Ou seja um movimento mais rápido poderá representar um processamento dos dados a apresentar mais rápido e eficaz. Assim a o tempo de reação é esperado que seja menor, isto devido ao processamento da informação mais rápido por parte da visão.

TABELA 5.6: Valores médios resultantes dos 20 voluntários para a aceleração do rato

<i>Estado</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
normal	0.4238	0.103	0.4090	0.6174	0.2425
fadiga	0.39497	0.0926	0.4056	0.54673	0.2083

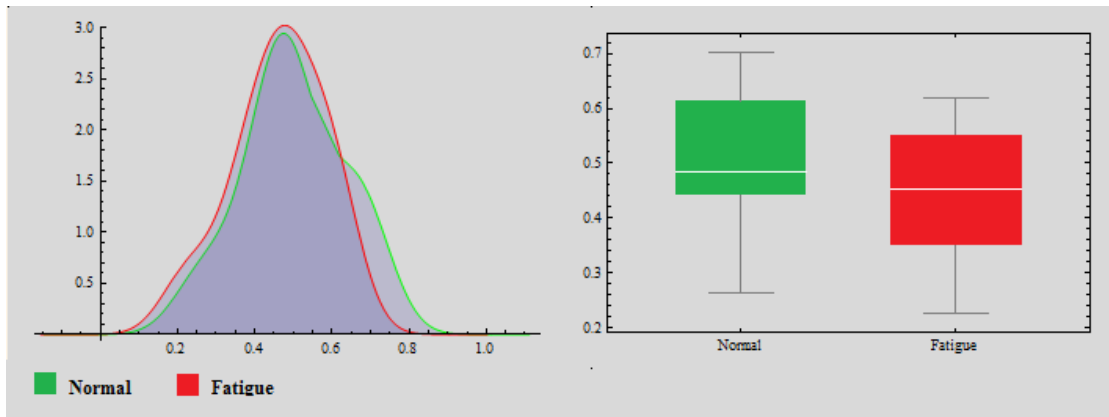


FIGURA 5.6: Histograma e blox plot comparando os dados das duas distribuições para a aceleração do rato de um voluntário da experiência.

Tal como os inputs do manuseamento do teclado, o manuseamento do rato torna-se mais lento, resultando uma aceleração menor, verificando-se numa redução aproximada de 0.03 do valor médio da aceleração, que passa de 0.423886 para 0.394978, já a mediana sofre uma redução menor. Pode-se ainda observar através da Figura 5.6 e da Tabela 5.6 que os extremos sofre uma redução do estado normal para o estado de fadiga.

O valor desta métrica é provado com o H_0 do teste Mann-Whitney a ser rejeitado em 90% dos casos de estudo, verificando-se um p-value médio de 3.01×10^{-11} .

5.5.4 Velocidade

Tal como na aceleração são esperados movimentos mais rápidos perante utilizadores sem a presença de um estado de fadiga. Isto deve-se mais uma vez à visão do utilizador, onde este é capaz de processar mais rapidamente a informação visual, e efetuar os movimentos do rato de forma mais rápida.

TABELA 5.7: Valores médios resultantes dos 20 voluntários para a velocidade do rato

<i>Estado</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
normal	0.500241	0.132265	0.484469	0.70233	0.2621
fadiga	0.4623	0.1199	0.469	0.618	0.2260

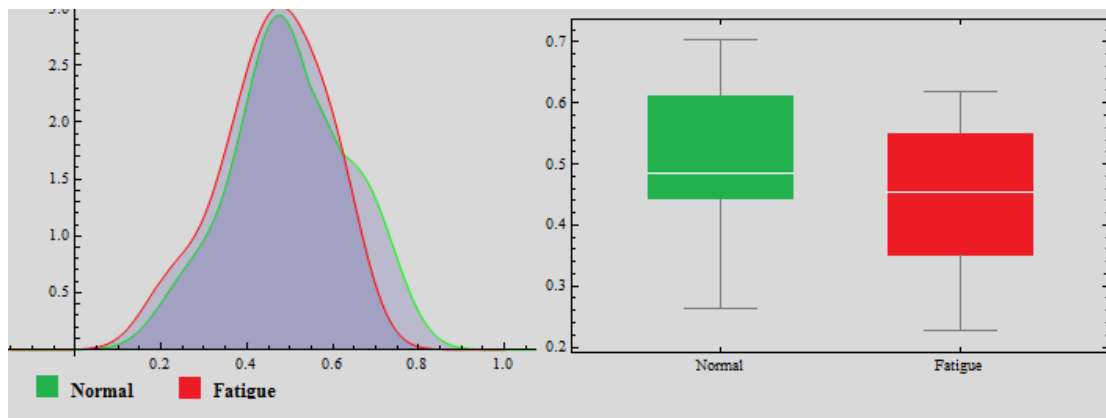


FIGURA 5.7: Histograma e blox plot comparando os dados das duas distribuições para a velocidade do rato de um voluntário da experiência.

Como esperado pode-se observar através da Figura 5.7 e da Tabela 5.7 que tal como verificado na aceleração a velocidade dos movimento do rato diminui com a fadiga. A média passa de um valor 0.500241 em estado normal para 0.462356, mais uma vez se verifica também uma redução não tão acentuada da mediana.

O valor desta métrica é provado com um H_0 do teste Mann-Whitney rejeitado em 90% dos casos de estudou, o valor médio do p-value é de $5.03 * 10^{-15}$.

5.5.5 Erros por tecla

O número de erros por tecla pressionada baseia-se na simples razão de número de vez que a tecla backspace é usada sobre o total de teclas pressionadas num determinado espaço de tempo. Esta é uma métrica bastante interessante pois grande parte das definições dadas à fadiga mental baseia-se na baixa de performance, e no aumento do número de erros. Espera-se então um claro aumento do número

de erros num estado de fadiga sobre um estado normal, referenciando assim fatores como a concentração, atenção ou mesmo memória, que estão diretamente ligados ao erro. O erro tanto pode ser provocado por uma falha de atenção ou concentração, ou mesmo por falha de memória.

TABELA 5.8: Valores médios resultantes dos 20 voluntários o número de erros por tecla

<i>Estado</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>mediana</i>	<i>max</i>	<i>min</i>
normal	7.64341	2.76873	7.4446	13.1371	4.62561
fadiga	9.01029	2.60026	8.5977	13.217	4.9424

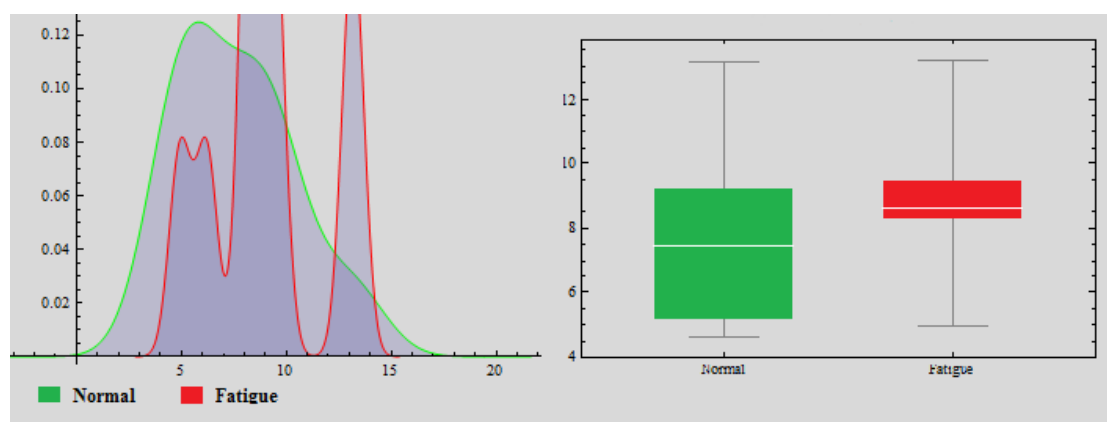


FIGURA 5.8: Histograma e blox plot comparando os dados das duas distribuições para o número de erros por tecla de um voluntário da experiência.

Tal com esperado verifica-se um aumento da percentagem de erros por tecla pressionadas. No entanto pode-se verificar que tanto o máximo como o mínimo em caso de fadiga ou não, assumem valores muito semelhantes, tal como se pode verificar na Figura 5.8 e na Tabela 5.8.

5.6 Resultados Obtidos

Após efetuada uma análise detalha e apresentada em suma uma avaliação sobre aos dados recolhidos foi possível concluir através do uso do teste Mann-Whitney quais as métricas em estudo que se revelam importantes para a deteção de fadiga

mental. Métricas estas que se revelam diferentes num estado mental normal, e em um estado mental de fadiga.

Pode-se verificar logo de partida que é possível detetar alterações de comportamento através do uso de teclado e rato. Com o uso do teclado e através do registo do tempo da utilização das teclas, assim como do tempo entre teclas pressionadas, e pela razão de erros por tecla pressionada é possível monitorizar casos fadiga mental. Já através do uso do rato esta monitorização é feita pela aceleração e velocidade de movimentos do uso do rato. É ainda possível verificar que tanto o manuseamento do rato como do teclado sobre o efeito de um estado de fadiga mental torna-se mais lento e menos preciso, resultando num aumento no tempo de pressão das teclas, assim como do tempo entre teclas, e no caso do rato uma diminuição na aceleração e velocidade dos movimentos. Esta redução de eficiência vem de encontro à definição de fadiga que pode ser expressa como uma diminuição de performance e acrescimento de erros.

5.7 Conclusão

Após uma exploração do domínio da fadiga mental, na qual se identificaram fatores de fadiga mental, assim como alguns indicadores, resultou um conjunto de métricas propostas para estudo, com o intuito de identificar um possível estado de fadiga mental. Passou-se depois ao estudo e validação das métricas propostas.

Para a validação das métricas propostas foi necessário recolher dados de utilizadores sobre um estado mental sem fadiga, chamado de estado mental normal, e sobre um estado de fadiga mental. Como referido a indução artificial de fadiga é um processo difícil e demorado, pelo qual se optou por uma estratégia que se resume a recolha de dados no início de dia/trabalhos, e no mesmo dia no fim de dia/fim de trabalhos. Desta recolha de dados foi esperado que estes sejam afetados por um estado de fadiga mental/cansaço. Após o desenvolvimento de uma aplicação de captura de eventos provocados pelo rato e teclado, dos quais resultam as métricas definidas iniciou-se uma recolha de dados. Dos dados recolhidos tornou possível

realizar a prova de valor de qualidade das métricas definidas, relevando quais as métricas que se destacam como indicadores de fadiga mental.

Os dados recolhidos foram processados numa fase inicial, sendo transformados nas métricas definidas e posteriormente feita uma análise estatística com o objetivo de avaliar quais as métricas que revelam uma diferença estatisticamente significativa, e assim poderem ser consideradas como bons indicadores de fadiga mental.

Durante a análise estatística foram calculadas diferentes variáveis e usadas medidas de tendência central, assim como testes estatísticos com o objetivo de verificar diferenças nas distribuições dos dados de estado mental normal e dos dados de estado de fadiga mental. Estes resultados mostraram que apenas 5 das 14 métricas propostas inicialmente são afetadas por fadiga aguda, podendo ser consideradas indicadores de fadiga mental. Estes resultados mostraram também que é possível monitorizar estados de fadiga mental, tanto através do rato, como do teclado de um computador, nomeadamente através do tempo de pressão de uma tecla, o tempo entre teclas, a aceleração do rato, a velocidade do rato. Os resultados obtidos revelam ainda uma diminuição de eficácia e perda de performance na utilização destes dois dispositivos.

De forma resumida pode-se afirmar que os resultados obtidos vêm provar a possibilidade de monitorização de fadiga mental através de dispositivos tecnológicos, neste caso através do rato e teclado de um computador. Este mesmo resultados são importantes para a compreensão do comportamento de um utilizador mediante um contexto normal ou de fadiga mental.

Capítulo 6

Sistema de Monitorização

Para tornar útil a deteção de fadiga mental é necessário que esta seja monitorizada. Toda a monitorização é baseada na observação. A observação para este sistema em concreto, monitorização de fadiga mental, será feita através do registo dos eventos provocadas pelo manuseamento do rato e teclado por parte de um utilizador. Estes registos associados às métricas definidas no capítulo anterior como capazes de detetar fadiga permitem classificar fadiga mental e consequente deteção e monitorização.

Pretende-se com a monitorização de um utilizador poder detetar possíveis casos de fadiga mental, ou prever o seu aparecimento, antecipando uma resposta. O sistema de monitorização deverá então mostrar os diferentes estados mentais do utilizador, pelos quais vai passando, em tempo real, para que possa servir de alerta mas também de recomendação. Assim o utilizador pode gerir melhor as suas atividades, tanto a nível de produtividade, mas também de risco e saúde. A consulta do histórico de possíveis estados de fadiga mental é também uma mais valia, principalmente com a função de auxiliar especialistas da área da saúde e da psicologia.

Para que a monitorização seja realmente eficaz no contexto do caso de estudo é ainda necessário que esta seja feito em tempo real, assim esta deverá ser feita de forma autónoma e não-intrusiva ao utilizar. Com uma monitorização invisível ao

utilizador espera-se obter resultados não influenciados por fatores externos, como muitas vezes acaba por acontecer quando o indivíduo sujeito a uma observação que se sente incomodado ou observado e reage de forma não natural.

6.1 Framework de Monitorização de Fadiga Mental

Para implementar o sistema de monitorização de fadiga mental foram tomadas algumas decisões em termos de estratégia de comunicação e representação de informação, assim como de armazenamento de informação. Assim e para que todo o processo de deteção de fadiga mental e monitorização da mesma seja realizado, é necessário que a informação de dados siga uma sequência de passos (Figura 6.1) desde que são capturados até à apresentação final ao utilizador. A necessidade de uma base dados também foi um fator a ter em consideração para assim se poder armazenar a informação dos utilizadoras e dos seus comportamentos no sistema.

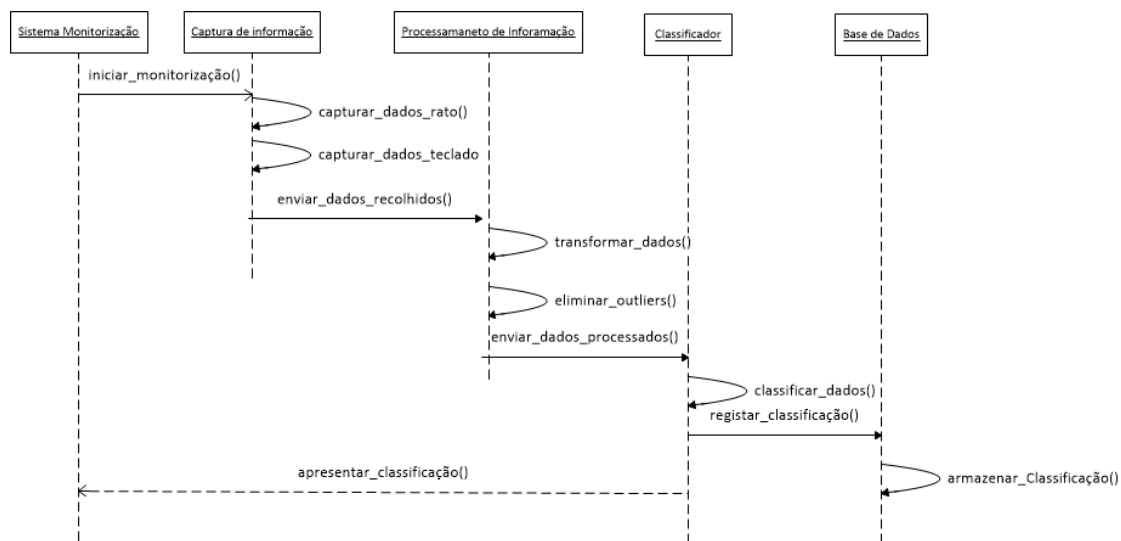


FIGURA 6.1: Diagrama de sequência do sistema. No diagrama é possível ver o fluxo de informação e atividades necessárias para a realização da monitorização.

6.1.1 Modelo Conceptual

Para monitorizar um utilizador é necessário inicialmente observar o utilizador e os seus comportamentos, e posteriormente transformar os dados observados em informação útil para o contexto de monitorização. Por fim é necessário armazenar a informação do sistema tendo em conta que o armazenamento do máximo de informação começa também a ser uma prática comum, isto porque cada vez mais o problema de memória para armazenamento é menor, e o registo de dados mais importante.

É proposto então um modelo baseado no modelo computacional **cliente-servidor**, onde o cliente e o servidor separados se interligam por uma rede. Neste modelo os dados são guardados na "cloud", para assim permitir a utilização dos mesmos de formas diferentes, e em máquinas diferentes. Este modelo permite aliviar a carga computacional da máquina do utilizador, sendo no entanto necessário um grande processamento de dados de forma contínua ao longo de toda a monitorização.

Porém este modelo trás uma dependência de conexão à Internet para se poder realizar a monitorização. Para diminuir os efeitos dessa limitação a classificação será feita na própria máquina do utilizador a quando da inexistência de ligação. Assim o computador do utilizador em caso de não ter conexão à rede servirá de cliente e servidor ao mesmo tempo.

Como se pode ver na figura 6.2, é possível a ligação de diferentes clientes ao servidor central. Pode-se ainda verificar através do modelo apresentado que será possível estender o sistema a outros dispositivos de forma simples e sem grandes alterações, permite também o desenvolvimento de funcionalidades futuras relativas à apresentação de resultados de forma independente e simples.

6.1.1.1 Cliente

Como se pode ver no esquema da figura 6.2, a captura de informação é feita no cliente. Ao iniciar uma monitorização é necessário que o utilizador forneça o seu

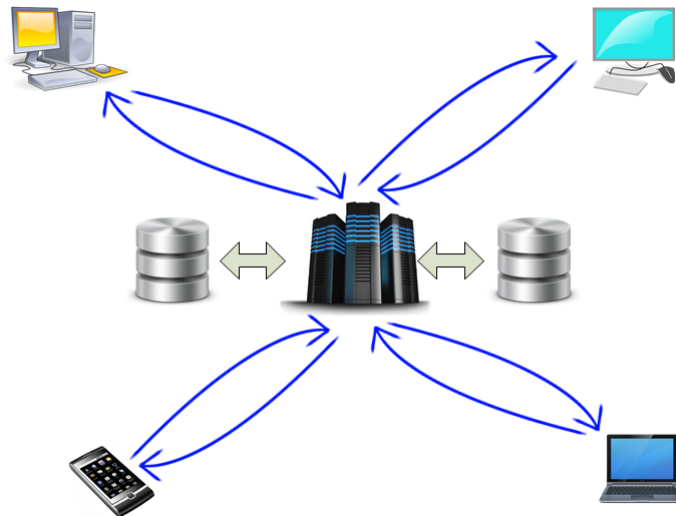


FIGURA 6.2: Modelo conceptual do sistema de monitorização baseado no modelo computacional Cliente-Servidor

nome de utilizador e password para iniciar a monitorização. Após isso é iniciada a captura de dados resultantes da utilização do rato e teclado por parte do utilizador.

Os dados recolhidos e que são registados tal como apresentado na secção 4.2.3 serão encriptados antes de enviados para o servidor. Usando **SSL** (Secure Sockets Layers) os dados serão encriptados e posteriormente enviados para o servidor. A encriptação de dados é necessária pois ao se registar todos os inputs do utilizador podem ser recolhidos dados pessoais, tais como passwords ou mesmo outras informações pessoais que deverão ser protegidos e mantidos em segurança. A privacidade e segurança de dados é um dos desafios do paradigma computacional da Inteligência Ambiente, no qual se deve garantir a segurança e a confiança do utilizador.

Será no cliente que se apresentará a parte visível ao utilizador. Por isso a interface de cliente irá apresentar as funcionalidades de monitorização ao utilizador. Assim este para além de apresentar a classificação atual do estado mental, também permitirá ao utilizador consultar o histórico de classificações. Optou-se pelo desenvolvimento do cliente em C# recorrendo às bibliotecas KeyboardHook e MouseHook que permitem aceder a todos os eventos do rato teclado do utilizador em qualquer tarefa desempenhada pelo mesmo.

6.1.1.2 Servidor

Cada utilizador que inicie uma monitorização irá ligar-se com o servidor e fornecer os dados do utilizador. Assim o utilizador conecta-se através do seu nome de utilizador e password ao servidor e prepara-se para iniciar uma monitorização. Ao iniciar a monitorização é estabelecida uma conexão com o servidor, que imediatamente irá iniciar o processo de monitorização. Cada utilizador que se conecte irá ter o seu próprio processo de monitorização, correndo cada processo de monitorização no servidor de forma independente.

Ao iniciar um processo de monitorização da parte do servidor, este fica à escutar o cliente, esperando receber os dados recolhidos do utilizador para poder processar esses mesmos dados. Após recebidos os dados é iniciado um registo de utilização. No servidor os dados recebidos serão descriptados e transformados em parâmetros de avaliação, que serão avaliados por um conjunto de métricas pré-definidas, assim como sujeitos a uma classificação por parte de um modelo de classificação pré-concebido.

Ao se iniciar a classificação de dados é carregado para o sistema o modelo de classificação desenvolvido na framework WEKA¹ (apresentado em 6.3). O modelo irá receber como input os valores dos parâmetros resultantes da transformação dos dados recolhidos do utilizador e irá atribuir no final uma classificação desses mesmo dados. A classificação resultante será comunicada ao cliente para que seja acessível ao utilizador.

O servidor é ainda responsável por armazenar toda a informação do sistema de monitorização. Assim no fim de cada classificação os dados recolhidos e transformados em valores de parâmetros específicos serão guardados e associados ao utilizador, assim como as classificações obtidas. Toda a informação armazenada é associada a um registo de utilização.

---

¹ Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) - www.weka.net

O servidor foi desenvolvido em JAVA e utilizada a API da framework do WEKA, também ela desenvolvida em JAVA. Já a conexão feita à base dados é realizada com o auxílio do driver JDBC também desenvolvido em JAVA.

6.1.2 Arquitetura

Para concretizar os objetivos propostos, foi desenhada uma arquitetura que tem como pressuposto garantir que seja possível construir o sistema de monitorização capaz de garantir os objetivos para o qual é proposto.

O ambiente ao qual será sujeito o sistema de monitorização é constituído pelo utilizador e pelo rato e teclado de um computador. Os utilizadores são a peça chave de todo o sistema, assim como do paradigma de Inteligência Ambiente, no qual se baseia todo o sistema de monitorização. O utilizador será representado no sistema através de um registo de perfil que contem a sua informação pessoal, assim como outros detalhes com importância para o estudo já referidos, tal como o caso de doenças, ou profissão, ou outros fatores com possível influência direta na fadiga mental. Os utilizador interagem com os dispositivos em questão permitindo assim sensorizar os seus comportamentos. É desta forma que o rato e teclado entram no sistema, sendo vistos como sensores capazes de fornecer informação relativa aos comportamentos dos utilizadores. É ainda através da informação recolhida pelo teclado e rato que será possível analisar os comportamentos do utilizador, que assim permitem detetar a fadiga e por fim efetuar uma monitorização do utilizador.

A arquitetura proposta é constituída por 5 camadas e encontra-se representada na Figura 6.3.

A primeira camada, *camada de aquisição de dados*, é responsável pela recolha dos inputs do utilizador a quando da utilização tanto do rato como do teclado. Esta camada ao registar os eventos resultantes da interação utilizador com o rato e teclado vai permitir o acesso ao ambiente e comportamentos do utilizador. Para representar esta camada será utilizado o módulo de captura de dados utilizado



FIGURA 6.3: Arquitetura do sistema de monitorização

para a experiência de validação das métricas em estudo, que enviará os dados para a camada de processamento.

A segunda camada é a *camada de processamento de dados*. Aqui os dados recebidos pela camada de aquisição de dados serão transformados, passando de simples registos de utilização do rato e teclado para parâmetros a avaliar pelas métricas seleccionadas para deteção de fadiga. Para além de transformação da forma de representar os dados, são também processados e eliminados os dados considerados de *outliers*. Estes dados são vistos como lixo e que devem ser eliminados para não influenciar os resultados de forma negativa. São então eliminados dados considerados *outliers* estatisticamente, assim como casos de exceção de utilização do rato ou teclado, como por exemplo o caso do uso da tecla "shift" para a obtenção de letras maiúsculas que acaba por ter um tempo de pressão sobre a tecla que não deve ser tido em conta entre outras situações semelhantes.

A camada seguinte é chamada de *camada de classificação*. Aqui a informação já processada será interpretada, analisada e irá resultar como informação que permite

representar o estado mental do utilizador. A classificação dos dados será feita através de uso de técnicas de machine learning que irão determinar se os dados em análise são resultantes de um estado de fadiga mental ou não.

A próxima camada é a *camada de informação adquirida*. Nesta camada são registados todos os dados do sistema de monitorização resultantes do uso do rato e teclado, assim como o perfil do utilizador. Com esta camada para além de armazenar toda a informação considerada útil, pretende-se que através dos dados armazenados criar um histórico do utilizador que venha ajudar na classificação dos dados atuais, assim como permitir realizar operações de data mining sobre os dados registados em associação aos perfis dos utilizadores.

Por fim a ultima camada, a *camada de apresentação* é responsável por apresentar os resultado da monitorização em tempo real, isto é, sempre que sejam classificados dados, a classificação deverá ser apresenta nesta camada. Nesta camada deverá também ser possível consultar o histórico do utilizador relativo às classificações efetuadas no passado, não só para ele, mas também para servir possivelmente de apoio a especialistas da área de saúde ou da psicologia.

6.2 Processamento de Informação

Durante a monitorização de um utilizador são registados todos os eventos resultantes do manuseamento do rato e teclado do utilizador. É necessário processar esta informação resultante dos comportamentos do utilizador e transformar a mesma em informação capaz de ser avaliada pelas métricas definidas. Porém existe um problema com origem no conceito da fadiga, e na utilização diversificada dos dispositivos por parte do utilizador. A fadiga é um estado com tendência, tendência esta a se manter durante um período de tempo superior à unidade de tempo minuto. Isto significa que uma pessoa não passa de um estado de fadiga em um minuto, no próximo volta ao normal e no seguinte volta a estar sobre o efeito da fadiga. Isto implica um número mínimo de tempo para avaliar o estado mental do utilizador ao invés de classificar a cada segundo ou mesmo minuto. Um outro

problema passa pela recolha mínima de um número de dados considerado suficiente para efetuar uma classificação correta, eliminando casos como por exemplo um único movimento do rato ou apenas algumas teclas pressionadas durante o período de classificação.

Para tentar eliminar estes problemas apresentados optou-se por uma classificação a ser efetuada com um tempo mínimo de 6 minutos e um *datasize* do teclado de 300 e do rato de 300. Estes valores foram escolhidos após o calculo dos valores médios de utilização de rato e teclado por parte do utilizador (Tabela 6.1 e Tabela 6.2) . Estes valores foram recolhidos na execução de diferentes utilizações por parte do utilizador, desde a tarefa de digitação de texto, do manuseamento do rato com tarefa principal, e em ambiente de total liberdade de utilização.

É ainda necessário referir mais uma vez, que é no processamento dos dados recolhidos que são eliminados os *outliers*. Para a sua eliminação é aplicado inicialmente um filtro que elimina todos os dados considerados *outliers* dos valores recolhidos do utilizador e só depois são processados.

TABELA 6.1: Resultado da análise estatística do tamanho dos *dataset* recolhidos com o uso do rato.

tarefa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
escrita	9,8	10,3	10,5	15,2	55,3	202,3	333,7	504,2	730,4	1432,4	330,4
rato	1405,6	3298,8	4522,9	6609,3	7243,7	8045,3	9229,3	10034,2	14003,2	15628,7	8002,1
livre	340,6	598,2	1439,4	1896,3	2522,5	3895,3	4597,2	4856,56	7219,3	8458,1	3582,3

TABELA 6.2: Resultado da análise estatística do tamanho dos *dataset* recolhidos com o uso do teclado.

tarefa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
escrita	230,9	255,6	303,7	573,1	722,8	993,7	1041,1	1173,1	1204,2	1532,4	803,1
uso rato	5,1	6,4	23,1	87,2	160,5	229,4	379,3	503,4	623,2	6753,6	277,1
livre	145,2	238,1	337,2	496,8	634,2	740,1	907,6	1007,4	1098,3	1152,4	675,7

6.3 Processo de Classificação

O objetivo principal do processo de deteção de fadiga mental é atingido através do uso de modelos de aprendizagem automática (algoritmos de machine learnig), que permitem assim detetar estados de fadiga mental. Para isso foram selecionados um

conjunto de parâmetros que demonstraram uma diferença mais significativa entre estados de fadiga mental ou estado mental normal. Com esses dados passou-se à criação de um modelo de classificação para automatizar o processo de detecção e monitorização de fadiga.

Para tal foi utilizado o algoritmo do k-vizinhos mais próximos (KNN) para o reconhecimento de padrões com a ajuda da ferramenta WEKA. Esta é uma técnica de classificação supervisionada, probabilística e não paramétrica que classifica objetos baseando-se nos exemplos de treinos mais próximos. O algoritmo de k-vizinhos mais próximos é um dos algoritmos mais simples dos algoritmos de machine learning. A classificação de um objeto é feita através dos valores vizinhos, ou seja, o valor da classificação resulta de uma espécie de votação dos objetos vizinhos, onde o valor da classificação é atribuído pelo valor mais comum nos k vizinho mais próximos (que normalmente é um valor inteiro positivo, normalmente pequeno). No caso de $K=1$ será o valor do vizinho mais próximo, tal com se pode ver no exemplo da Figura 6.4.

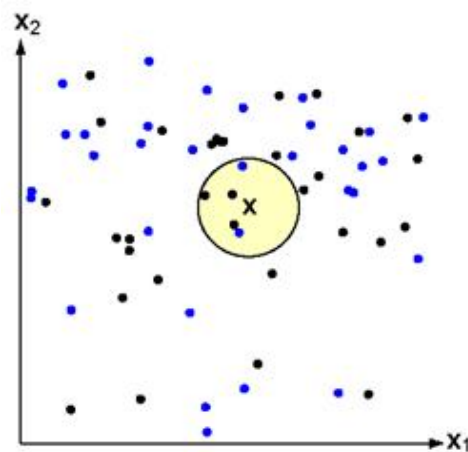


FIGURA 6.4: Exemplo de funcionamento do algoritmo KNN por voto da maioria. Neste caso o objeto a classificar representado por uma cruz irá consultar os 5 vizinhos mais próximos ($K=5$).

Para a construção do modelo de classificação foi usado um *dataset* baseado nos dados recolhidos durante a fase de experiência, onde se obtiveram casos de fadiga mental e de estados mentais normais. O *dataset* de treino é constituído por 5 atributos: aceleração do rato, velocidade do rato, erro por tecla, tempo de pressão e

TABELA 6.3: Resultados da análise aos modelos feita pelo WEKA.

data set	nº Instâncias	Classificação Correta	Classificação Incorreta	Kappa s	MAE	ROC Area	RMSE
Modelo Geral	40	77,5%	22,5%	0.4115	0.3422	0.794	0.4445
Modelo Individual	40	85%	15%	0.6	0.227	0.905	0.3425

TABELA 6.4: Matriz de confusão dos modelos de classificação.

Modelo de Classificação Geral			Modelo de Classificação Individual		
a	b	<- Classificado como	a	b	<- Classificado como
17	5	a=Normal	18	3	a=Normal
4	14	b=Fadiga	3	16	b=Fadiga

tempo entre teclas e estado mental, que foram os parâmetros de estudo que revelaram uma significância estatística maior. O *dataset* é constituído por 40 instâncias selecionadas dos valores obtidos durante a experiência descrita no capítulo 5.

Um outro dataset foi criado com base em instâncias de um único utilizador, tendo sido recolhidos dados desse utilizador durante um mês. Este *dataset* é constituído por 40 instâncias baseadas na informação individual de um simples utilizador.

Usando os *dataset* e com auxílio da ferramenta WEKA, mais em específico recorrendo ao algoritmo `weka.classifier.lazy.IbK` implementado em JAVA e usando o Weka workbranch (WEKA 3.6.3) foram treinados dois modelos, o modelo geral, baseado num *dataset* diversificado e baseado na informação de 20 utilizadores diferentes, e um *dataset* baseado na informação individual de apenas um utilizador. Com um $k = (\sqrt{40}) = 6$ e usando *Cross-Validation* com 10 Folds foram obtidos os resultados apresentados na tabela 6.3.

Como se pode ver pelas tabelas 6.3 e 6.4, o modelo individual tem uma precisão mais alta do que o modelo geral com um maior número de classificações corretas assim como do Kappa s e ROC área, e um menor número de erros (MAE e RMSE), o que era expectado. No entanto pode-se observar que a diferença não é muito grande (Figura 6.5), o que de certa forma permite afirmar que é possível utilizar um modelo geral como solução do problema. No entanto a população de estudo no qual se baseiam os dados utilizados na construção do modelo geral é muito semelhante entre si. O utilizador individual também faz parte do grupo de 20 pessoas do teste, o que levanta uma questão sobre a eficácia do modelo geral

construído em utilizadores com conhecimentos e experiência de utilização de um computador diferentes, destacando-se aqui a importância do perfil do utilizador.

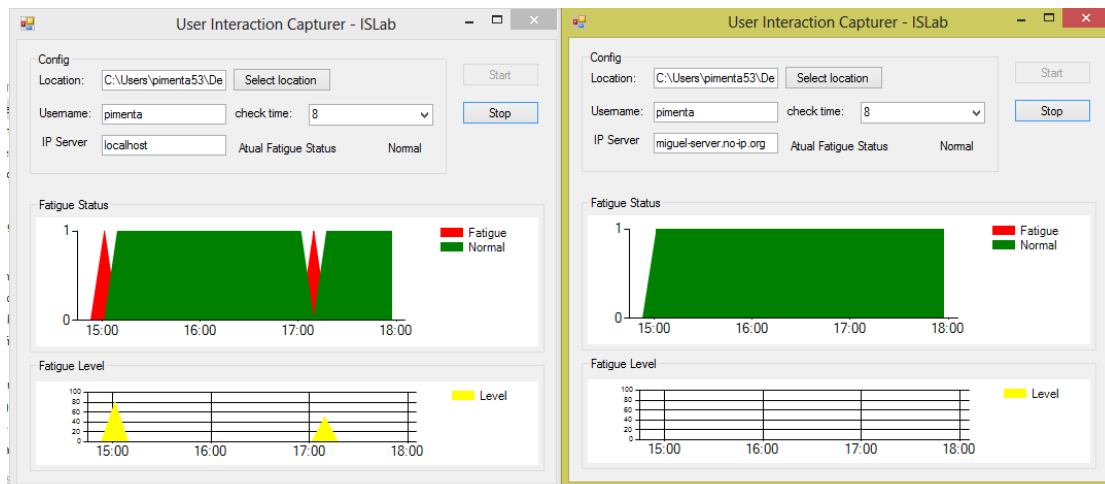


FIGURA 6.5: Sistema de monitorização utilizando diferentes modelos. Na figura da esquerda o sistema de monitorização utiliza o modelo geral. Na figura da direita é usado o modelo individual.

Classificação Individual

Um dos problemas referidos na classificação do uso do rato e teclado é a sua não utilização, ou a utilização de apenas um dos dispositivos. Para corrigir este problema é feita uma classificação individual de cada um dos parâmetros, assim como de cada dispositivo.

Para classificar cada um dos parâmetros selecionados, aceleração do rato, velocidade do rato, erro por tecla, tempo de pressão e tempo entre teclas é utilizado o valor médio de cada parâmetro e a respetiva variância estatística obtidos na experiência realizada. Com isto são definidos os limites dos intervalos de valores para um estado normal e para um estado de fadiga mental.

Esta classificação tem como objetivo colmatar as situações onde não existem dados relativos a um dos dispositivos, mas também para obter um nível de fadiga e servir como auxiliar à classificação binária feita através do algoritmo k-vizinhos próximos. O nível de fadiga será apresentado como o resultado da percentagem dos parâmetros classificados individualmente como fadiga mental sobre o total de

parâmetros a classificar. Foram ainda atribuídos avatares a cada nível (Figura 6.6), dando uma expressão gráfica mais simples para o utilizador.

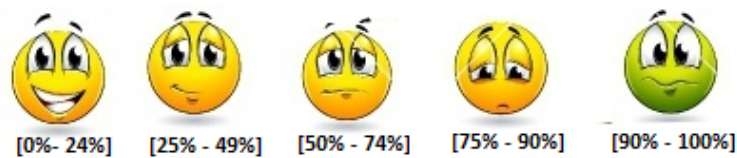


FIGURA 6.6: Avatares correspondentes aos diferentes estados de fadiga atribuídos.

6.4 Interface do Utilizador

Foi desenvolvida uma interface gráfica do sistema de monitorização para o utilizador. Esta interface baseada no sistema de captura usado na fase de testes. Tal como descrito esta interface apresenta o estado mental atual do utilizador, mas também o histórico de utilização como se pode ver na Figura 6.7. É também apresentado o nível de fadiga baseado nos fatores individuais já explicados, assim como o avatar a que este corresponde.

Como histórico são apresentados as diferentes classificações binárias dos estado mental do utilizador, sendo representado a vermelho o estado de fadiga e a verde o estado normal. É também possível visualizar os diferentes níveis de fadiga correspondentes a cada classificação efetuada.

A interface do sistema de monitorização é ainda complementada com um icon, que apresenta o avatar corresponde ao estado mental do utilizador. O objetivo deste icon é mostrar ao utilizador qual o seu estado mental enquanto o sistema de monitorização corre em "background", eliminando assim a necessidade deste estar sempre a consultar ou mesmo ter a necessidade de manter sempre visível, o que é incomodativo ao utilizador.

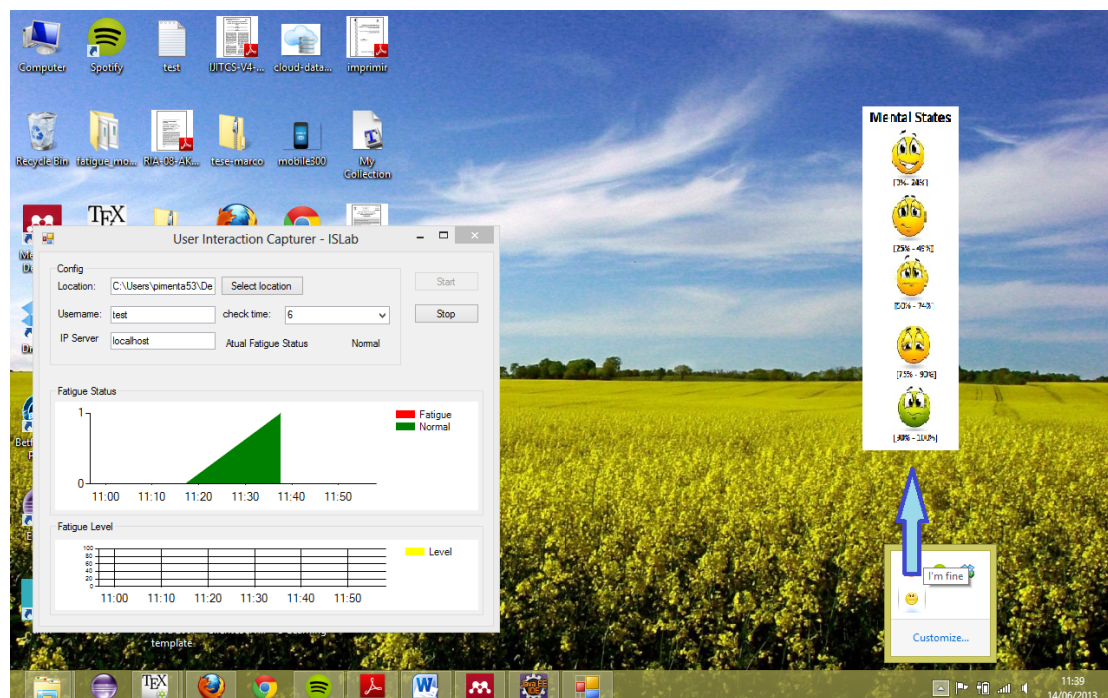


FIGURA 6.7: Interface gráfica do sistema de monitorização. É possível ver no primeiro gráfico a classificação atual do estado de fadiga e no segundo gráfico o nível de fadiga.

6.5 Informação Armazenada

Toda a informação relativa tanto ao utilizador como à informação proveniente da sensorização do rato e teclado são armazenadas numa base de dados (modelo conceptual apresentado na Figura 6.8). A informação do utilizador é armazenada no seu perfil, onde são guardados os dados pessoais e observações com importância para a área da fadiga, tal como possíveis doenças ou limitações que o utilizador possa ter. A informação é armazenada numa base de dados desenvolvida e instalada no sistema de gestão de base de dados MySQL 5.6

A ligação entre os dispositivos e o utilizador é feita através de um registo de utilização. Este registo contém os valores das métricas definidas tanto para o rato como para o teclado, mas também a classificação do estado mental do utilizador, assim como a classificação individual de cada métrica. Desta forma é possível obter todos os valores registados durante a monitorização, e a classificação correspondente a esse conjunto de valores

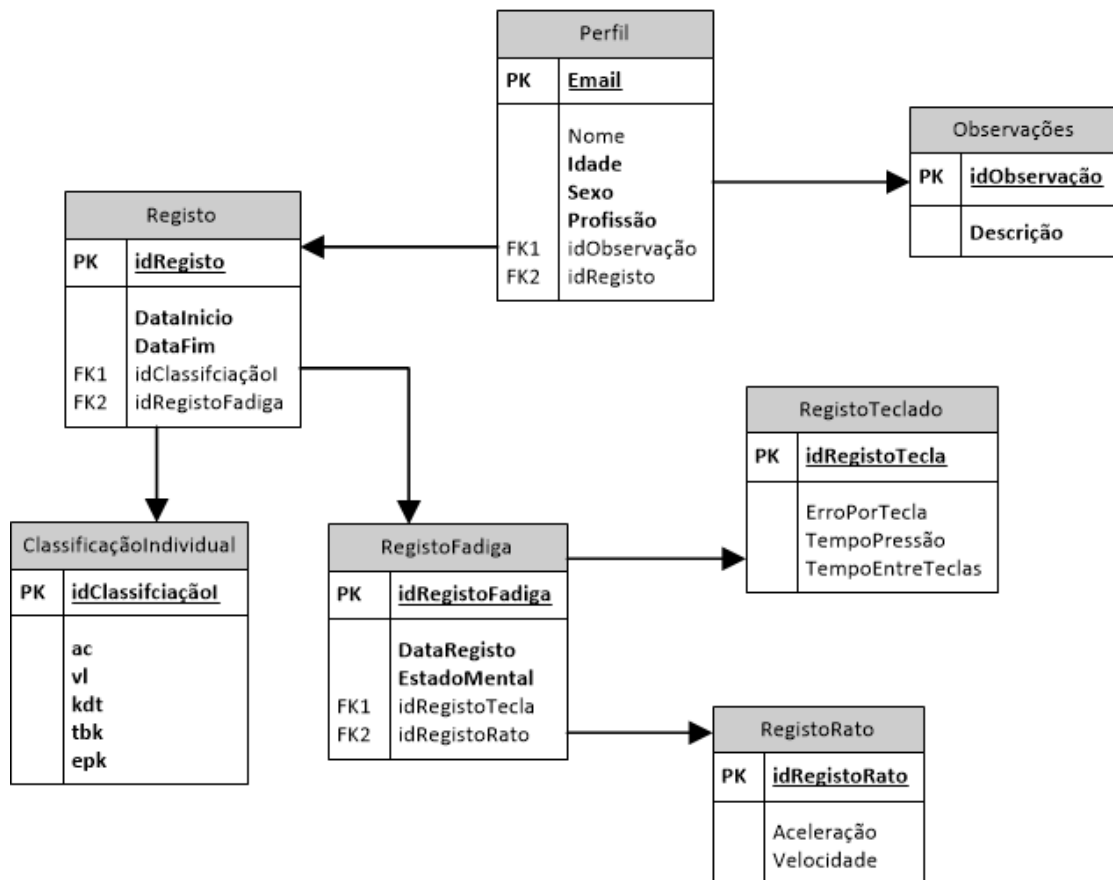


FIGURA 6.8: Modelo conceitual da base de dados.

O armazenamento desta informação permite ao sistema de monitorização conter também uma vertente de recomendação e histórico de apoio ao utilizador. O registo dos valores das métricas durante a monitorização permite também uma adaptação e atualização dos valores médios no qual se baseia a classificação individual de cada parâmetro, como já foi explicado. O registo de toda a informação poderá ainda ser útil para a realização de operações de data minig sobre os utilizadores e de certa forma ajudar a melhorar e otimizar a deteção e monitorização da fadiga mental.

6.6 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada o sistema de monitorização de fadiga mental, o modelo e arquitetura de funcionamento do mesmo, assim como todo o processo de funcionamento.

Através do uso do algoritmo KNN foram construídos dois modelos de classificação baseados na informação de diferentes utilizadores, modelo geral, e na informação de um único utilizador, modelo individual. Ao comparar estes dois modelos foi possível verificar que o modelo geral poderá ser utilizado como modelo a adotar por parte dos utilizadores com perfis próximos ao do utilizadores da experiência realizada. Porém a precisão é inferior à de um modelo individual.

Capítulo 7

Conclusão e Trabalho Futuro

A detecção de fadiga mental é um processo complicado e subjetivo. Na maior parte das vezes são usados questionários para se perceber o estado mental de um paciente, associados a consultas com especialistas da área da saúde ou da psicologia. O facto de a fadiga ser algo comum e ocorrer com frequência é na maior parte das vezes ignorada. É um fator crítico no nosso trabalho e produtividade do mesmo, provocando situações de riscos. Foi neste trabalho proposto a criação de um sistema de detecção e monitorização através do uso do rato e teclado por parte do utilizador a monitorizar. Através de um conjunto de métricas inspiradas nas biométricas comportamentais provou-se que é possível detetar fadiga mental nos comportamentos do utilizador ao manusear estes dois dispositivos. Foi ainda provado que a presença de fadiga mental se anuncia com a perda de performance e um aumento do número de erros. Um dos objetivos principais passava pela criação de um sistema de monitorização baseado no paradigma de Inteligência Ambiente, que realize uma detecção e monitorização de fadiga de forma não invasiva, assim como garantir que a experiência realizada fosse feita de forma não influenciada (sem a influência de fatores externos). Para isso foram escolhidos um conjunto de métricas de avaliação baseadas nas biométricas comportamentais, tal como já referido, e implementado o sistema de monitorização de forma a ser quase invisível ao utilizador. Como trabalho futuro, será focada o perfil do utilizador no sistema de monitorização, assim como outros fatores importantes de fadiga como o sono,

stress e estados de humor sendo que estes não foram abordados. A criação de um modelo individual para cada utilizador de forma automática é também uma consideração futura, assim como o crescimento de novos parâmetros e formas de detetar e mediar a fadiga. O estudo da fadiga crónica deverá também ser tido em conta uma vez que este trabalho apenas se focou na fadiga aguda.

7.1 Síntese do Trabalho Realizado

As principais contribuições deste trabalho podem ser apresentadas da seguinte forma:

- Análise e modelação do domínio da fadiga. Apresentam-se os diferentes fatores ligados à fadiga em geral, e mais em específico à fadiga mental. Destes fatores resultou uma proposta de métricas e modelo de deteção de fadiga.
- Experiência realizada que prova que algumas métricas inspiradas nas biométricas Keystroke Dynamics e Dynamics Mouse, são capazes de medir a fadiga. Estas revelaram uma diferença estatística significativa entre um estado normal e um estado de fadiga. Análise dos padrões de utilização adquiridos na experiência.
- Conjunto de métricas capazes de medir e detetar a fadiga mental. Métricas de utilização do teclado e rato (Keystroke Dynamics e Dynamics Mouse).
- Modelos de classificação baseada no algoritmo de machine learning KNN, construídos através do auxílio da ferramenta WEKA e do algoritmo implementado em JAVA `weka.classifier.lazy.IBK`. Estes modelos são para classificação geral e classificação individual de utilizadores.
- Modelo computacional cliente-servidor que permite a utilização da monitorização em diferentes dispositivos, assim como usufruir de um serviço cloud.
- Arquitetura concebida para uma deteção e monitorização autónoma da fadiga.

—Prototipo funcional desenvolvido para o sistema de monitorização.

O trabalho realizado representa pesquisa na área da fadiga e em especial da fadiga mental. Com a introdução de tecnologias e através do uso da Inteligência Ambiente foi provado que é possível utilizar esta nova abordagem para resolver este tipo de problemas. Com o prototipo desenvolvido torna-se possível monitorizar fadiga mental através do rato e teclado.

7.2 Trabalho Relevante

O trabalho desenvolvido e documentado nesta dissertação é, como afirmado antes, integrado no projeto CAMCoF. Este projeto está a ser desenvolvido no Centro de Ciências e Tecnologias da Computação da Universidade do Minho (DI-CCTC), no Intelligent System Lab, da Universidade do Minho (ISLab). O progresso deste trabalho foi documentado nas seguintes publicações:

- Carneiro D., Novais P., Catalão F., Marques J., Pimenta A., Neves J., Dynamically Improving Collective Environments through Mood Induction Procedures, Ambient Intelligence- Software and Applications – 4th International Symposium on Ambient Intelligence (ISAmI 2013), Ad van Berlo, Kasper Hallenborg, Juan M. Corchado, Dante I. Tapia, Paulo Novais (eds), Springer - Series Advances in Intelligent and Soft Computing, Vol 219, ISBN 978-3-319-00565-2, pp 33-40, 2013. (A indexar no DBLP e ISI Web of Knowledge) http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-00566-9_5. (Classificado como Book Chapter pela Springer.)
- Pimenta A., Carneiro D., Novais P. and Neves J., Monitoring Mental Fatigue through the analysis of Keyboard and Mouse Interaction, HAIS 2013 - 8th International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems Patterns, Salamanca, Spain, to appear in LNAI(Lecture Notes in Artificial Intelligence) Serie Springer 2013.

7.3 Trabalho Futuro

Embora os objetivos desta dissertação tenham sido atingidos existe muito trabalho por realizar. Foi efetuado apenas um estudo para provar a possibilidade de detecção e monitorização da fadiga através de simples dispositivos tecnológicos. No entanto o feedback dos utilizadores assim como a continuação do desenvolvimento de algumas funcionalidades deverão ser tidos em conta, tais como:

- Estudar novas métricas e parâmetros que permitam a detecção de fadiga de forma mais aperfeiçoada .
- Consideração de outros fatores tais como a sonolência, stress e estados de humor de forma a aperfeiçoar o sistema.
- Criação de modelos de classificação individuais de forma simples e automática.
- Incorporar uma visão crítica sobre os resultados da experiência, depois de apresentá-los aos médicos e psicológicos especialistas.
- Expandir o sistema de monitorização para dispositivos moveis com as devidas adaptações e integrar o mesmo com o resto do sistema já desenvolvido.

Este trabalho futuro será realizado em breve, numa próxima etapa, aquando da inscrição no programa doutoral em informática.

Bibliografia

- [1] Asier Aztiria, Alberto Izaguirre, and Juan Carlos Augusto. Learning patterns in ambient intelligence environments: a survey. *Artif. Intell. Rev.*, 34(1):35–51, June 2010.
- [2] Sally Bailes, Eva Libman, Marc Baltzan, Rhonda Amsel, Ron Schondorf, Catherine S Fichten, et al. Brief and distinct empirical sleepiness and fatigue scales. *Journal of psychosomatic research*, 60(6):605, 2006.
- [3] Linsey Marinn Barker. *Measuring and modeling the effects of fatigue on performance: Specific application to the nursing profession*. PhD thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2009.
- [4] Germán E Berrios. Feelings of fatigue and psychopathology: a conceptual history. *Comprehensive psychiatry*, 31(2):140–151, 1990.
- [5] Anna JHM Beurskens, Ute Bültmann, IJmert Kant, Jan HMM Vercoulen, Gijs Bleijenbergh, and Gerard MH Swaen. Fatigue among working people: validity of a questionnaire measure. *Occupational and environmental medicine*, 57(5):353–357, 2000.
- [6] Maarten AS Boksem, Theo F Meijman, and Monique M Lorist. Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biological psychology*, 72(2):123–132, 2006.
- [7] D Bonner, M Ron, T Chalder, S Butler, and S Wessely. Chronic fatigue syndrome: a follow up study. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 57(5):617–621, 1994.

-
- [8] Energy Institute (Great Britain). *Improving Alertness Through Effective Fatigue Management*. Energy Institute, 2006.
  - [9] Barry Brumitt, Brian Meyers, John Krumm, Amanda Kern, and Steven Shafer. Easyliving: Technologies for intelligent environments. In *Handheld and ubiquitous computing*, pages 12–29. Springer, 2000.
  - [10] Davide Carneiro, José Carlos Castillo, Paulo Novais, Antonio Fernández-Caballero, and José Neves. Multimodal behavioral analysis for non-invasive stress detection. *Expert Syst. Appl.*, 39(18):13376–13389, December 2012.
  - [11] Davide Carneiro, José Carlos Castillo, Paulo Novais, Antonio Fernández-Caballero, and José Neves. Multimodal behavioural analysis for non-invasive stress detection. *Expert Systems with Applications*, 2012.
  - [12] Daniel Chisholm, Emma Godfrey, Leone Ridsdale, Trudie Chalder, Michael King, Paul Seed, Paul Wallace, S Wessely, et al. Chronic fatigue in general practice: economic evaluation of counselling versus cognitive behaviour therapy. *The British Journal of General Practice*, 51(462):15, 2001.
  - [13] Ruth C Clark and Richard E Mayer. *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*. Pfeiffer, 2011.
  - [14] Diane J Cook, Juan C Augusto, and Vikramaditya R Jakkula. Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities. *Pervasive and Mobile Computing*, 5(4):277–298, 2009.
  - [15] Ricardo Costa, Davide Carneiro, Paulo Novais, Luís Lima, José Machado, Alberto Marques, and José Neves. Ambient assisted living. In JuanM. Corchado, DanteI. Tapia, and José Bravo, editors, *3rd Symposium of Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence 2008*, volume 51 of *Advances in Soft Computing*, pages 86–94. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
  - [16] Drew Dawson and Kathryn Reid. Fatigue, alcohol and performance impairment. *Nature*, 388(6639):235–235, 1997.

-
- [17] T Tinoco De Rubira. Automatic fatigue detection system. Technical report, 2009.
- [18] Alicia Deale and Simon Wessely. Diagnosis of psychiatric disorder in clinical evaluation of chronic fatigue syndrome. *JRSM*, 93(6):310–312, 2000.
- [19] Alicia Deale, Simon Wessely, et al. Patients’ perceptions of medical care in chronic fatigue syndrome. *Social Science and Medicine*, 52(12):1859–1864, 2001.
- [20] G Delapierre, H Grange, B Chambaz, and L Destannes. Polymer-based capacitive humidity sensor: characteristics and experimental results. *Sensors and Actuators*, 4:97–104, 1983.
- [21] Kim. Dobbie and Australian Transport Safety Bureau. *Fatigue-related crashes : an analysis of fatigue-related crashes on Australian roads using an operational definition of fatigue*. Australian Transport Safety Bureau [Canberra], 2002.
- [22] K Ducatel, M Bogdanowicz, F Scapolo, J Leijten, and JC Burgelman. Ambient intelligence: From vision to reality. Technical report, 2003.
- [23] Ken Ducatel, Marc Bogdanowicz, Fabiana Scapolo, Jos Leijten, and Jean-Claude Burgelman. *Scenarios for ambient intelligence in 2010*. Office for official publications of the European Communities, 2001.
- [24] Karen Zita Haigh, Liana M. Kiff, Janet Myers, Valerie Guralnik, Kathleen Krichbaum, John Phelps, Tom Plocher, and David Toms. The independent lifestyle assistant tm (i.l.s.a.): Lessons learned, 2003.
- [25] Stephen T Holgate, Anthony L Komaroff, Dennis Mangan, and Simon Wessely. Chronic fatigue syndrome: understanding a complex illness. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(9):539–544, 2011.
- [26] Jamil L Hossain, Parvez Ahmad, Lawrence W Reinish, Leonid Kayumov, Naheed K Hossain, and Colin M Shapiro. Subjective fatigue and subjective

- sleepiness: two independent consequences of sleep disorders? *Journal of Sleep Research*, 14(3):245–253, 2005.
- [27] Kuo-An Hwang and Chia-Hao Yang. Automated inattention and fatigue detection system in distance education for elementary school students. *Journal of Educational Technology & Society*, 12(2):22–35, 2009.
- [28] Anil Jain, Ruud Bolle, and Sharath Pankanti. Introduction to biometrics. In AnilK. Jain, Ruud Bolle, and Sharath Pankanti, editors, *Biometrics*, pages 1–41. Springer US, 2002.
- [29] William B Johnson, Felisha Mason, Steven Hall, and Jean Watson. Evaluation of aviation maintenance working environments, fatigue, and human performance, 2001.
- [30] E. Joyce, Stephen Blumenthal, and S. Wessely. Memory, attention, and executive function in chronic fatigue syndrome. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 60(5):495–503, 1996.
- [31] Hidetsugu Kobayashi and Shinichi Demura. Relationships between chronic fatigue, subjective symptom of fatigue, life stressors and lifestyle in japanese high school students. *School Health*, 2:38–42, 2006.
- [32] Chris Kyriacou. Action research: a methodology for change and development - by bridget somekh. *British Journal of Educational Studies*, 55(4):468–469, 2007.
- [33] Stephanie S Leone, Simon Wessely, Marcus JH Huibers, J André Knottnerus, and IJmert Kant. Two sides of the same coin? on the history and phenomenology of chronic fatigue and burnout. *Psychology and Health*, 26(4):449–464, 2011.
- [34] Monique M Lorist, Merel Klein, Sander Nieuwenhuis, Ritske Jong, Gijsbertus Mulder, and Theo F Meijman. Mental fatigue and task control: planning and preparation. *Psychophysiology*, 37(5):614–625, 2000.

- [35] Michael C Mozer. An intelligent environment must be adaptive. *Intelligent systems and their applications, IEEE*, 14(2):11–13, 1999.
- [36] Bijan Najafi, Kamiar Aminian, Anisoara Paraschiv-Ionescu, François Loew, Christophe J Bula, and Philippe Robert. Ambulatory system for human motion analysis using a kinematic sensor: monitoring of daily physical activity in the elderly. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 50(6):711–723, 2003.
- [37] Daniel Neu, Paul Linkowski, Olivier Le Bon, et al. Clinical complaints of daytime sleepiness and fatigue: How to distinguish and treat them, especially when they become ‘excessive’ or ‘chronic’? *Acta neurologica belgica*, 110(1):15, 2010.
- [38] Geri B Neuberger. Measures of fatigue: The fatigue questionnaire, fatigue severity scale, multidimensional assessment of fatigue scale, and short form-36 vitality (energy/fatigue) subscale of the short form health survey. *Arthritis Care & Research*, 49(S5):S175–S183, 2003.
- [39] Iris Nijrolder, Daniëlle van der Windt, Henk de Vries, and Henriëtte van der Horst. Diagnoses during follow-up of patients presenting with fatigue in primary care. *Canadian Medical Association Journal*, 181(10):683–687, 2009.
- [40] Paulo Novais, Davide Carneiro, Marco Gomes, and José Neves. Non-invasive estimation of stress in conflict resolution environments. In *Advances on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems*, pages 153–159. Springer, 2012.
- [41] Paulo Novais, Davide Carneiro, Sérgio Gonçalves, Manuel Rodrigues, and Florentino Fdez. The Contextual Richness of a Traditional Classroom in an e-Learning Environment. Technical Report 1.
- [42] Donald J O’Boyle, John S Freeman, and Frederick WJ Cody. The accuracy and precision of timing of self-paced, repetitive movements in subjects with parkinson’s disease. *Brain*, 119(1):51–70, 1996.

-
- [43] Davy Preuveneers and Paulo Novais. A survey of software engineering best practices for the development of smart applications in ambient intelligence. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 4(3):149–162, 2012.
- [44] Tomasz Ratecki. Fatigue monitoring system. 2010.
- [45] AS Rogers, MB Spencer, BM Stone, and Great Britain. *Validation and development of a method for assessing the risks arising from mental fatigue*. HSE Books Sheffield, 1999.
- [46] Robert Schweitzer, Brian Kelly, Amanda Foran, Deborah Terry, and John Whiting. Quality of life in chronic fatigue syndrome. *Social Science & Medicine*, 41(10):1367–1372, 1995.
- [47] Vince Stanford. Biosignals offer potential for direct interfaces and health monitoring. *Pervasive Computing, IEEE*, 3(1):99–103, 2004.
- [48] Leonard J. Trejo, Kevin Knuth, Raquel Prado, Roman Rosipal, Karla Kubitzi, and Rebekah Kochavi Bryan Matthews. Eeg-based estimation of mental fatigue: Convergent evidence for a three-state model.
- [49] Dimitri van der Linden and Paul Eling. Mental fatigue disturbs local processing more than global processing. *Psychological research*, 70(5):395–402, 2006.
- [50] Norma C Ware. Toward a model of social course in chronic illness: the example of chronic fatigue syndrome. *Culture, medicine and Psychiatry*, 23(3):303–331, 1999.
- [51] Simon Wessely, Carmine Pariante, et al. Fatigue, depression and chronic hepatitis c infection. *Psychological medicine*, 32(1):1–10, 2002.
- [52] Richard J Williamson, Shaun Purcell, Abram Sterne, Simon Wessely, Matthew Hotopf, Anne Farmer, and Pak C Sham. The relationship of fatigue to mental and physical health in a community sample. *Social psychiatry and psychiatric epidemiology*, 40(2):126–132, 2005.

- [53] P C Winwood, A H Winefield, D Dawson, and K Lushington. Development and validation of a scale to measure work-related fatigue and recovery: the occupational fatigue exhaustion/recovery scale (ofer). *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 47(6):594–606, 2005.

Visão Geral do Sistema

Este anexo mostra com mais detalhes a arquitetura e o design do sistema e prototipo desenvolvido.

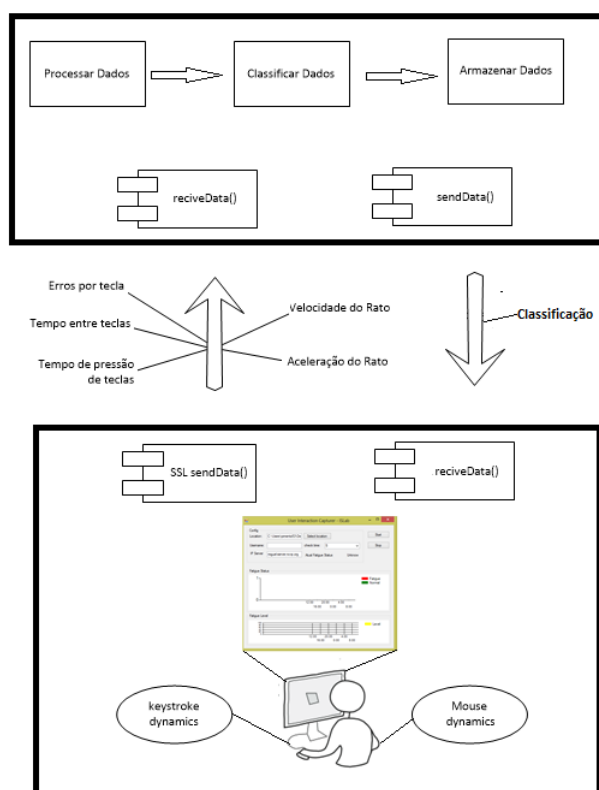


FIGURA 1: Representação gráfica do prototipo desenvolvido.